

電磁投杼装置付織機の研究

保 科 正 吉

工学部電気工学科

梗 概

電磁誘導力を利用した織機の投杼機構を考察しこれを取付けた新しい織機を試作研究し従来のものよりはるかに騒音が少く、又回転ムラ並に動力変動の少い織機を作ることができた。電磁誘導力を応用するとその作用力は強大でその装置は割合簡単でよいと云う利点があるが、又一方箆框の重量が過大になる欠点がある。この欠点をなくするため箆框にバネを附してその慣性能率を打消し、軽く運転出来て動力変動の少い織機を作った。これは普通織機にも利用出来る機構であつて利用価値は少くない。

誘導加速装置の構造についても種々考案し、特にその励磁電流を減少して、しかも強大なる電磁力が発生するよう、シャトルに金属翼を取付けた型のものを作り、理論的、実験的にその構造を定め大體所期の結果を得ることが出来た。又投杼機構をそのままシャトルの制動停止機構として用いられるようにし投杼、停止共電磁的に行うようにしたので騒音、摩擦の点において従来の織機より優れたものとなつた。以下従来の織機にはない新しい機構の若干の点についての研究結果について述べてある。

1. 緒 言

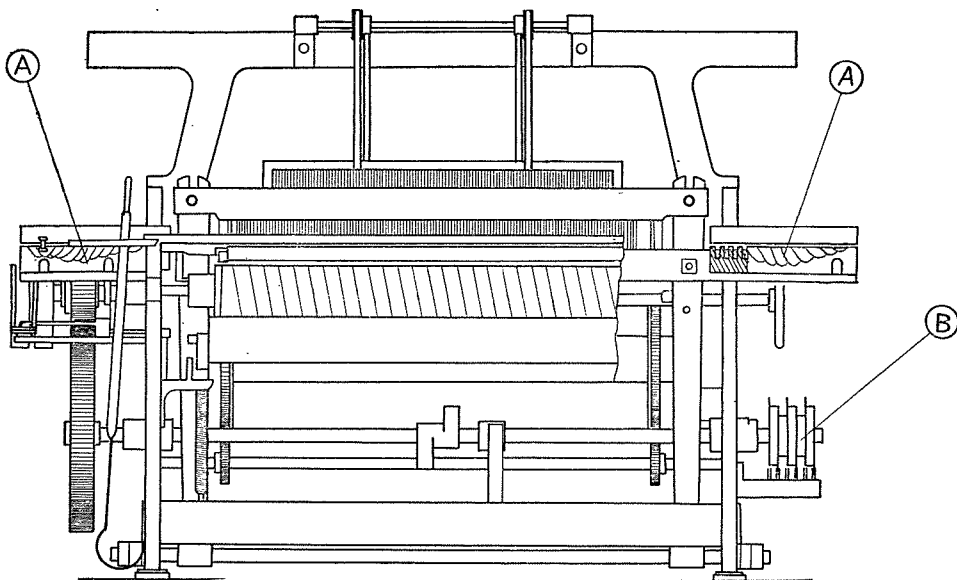
力織機のピツキングによる投杼機構の欠点をなくするため、種々の方法が考察されているが、その主なる方法は圧搾空気によるものと、電磁氣的方法によるものとに分けることができる。このうち電磁氣的方法によるものはいろいろあるが¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾いずれも実用化されていない。その原因を考えてみるに、特許にあらわれている方法のいずれもが電磁石による鉄片の吸引力或は電磁石と永久磁石の吸引力を応用したものであるため、最も重要な横方向の駆動力が弱かつたり、又構造が複雑であつたり、しかも又シャトルに鉄片を取付けるためシャトルの重量が大となつて高速度でシャトルを駆動、制止せしめるに適しなかつたり等の欠点があるため従来の方法をしのぐ優れた特性のものが得られないからである。筆者はこれに対し同じく電磁力の応用ではあるが、前記方法とは異なり誘導電磁力を応用した方法を試み、上記欠点を殆んど一掃し強力にしてしかも高速駆動に適する装置を作り得た。この装置はそのまま制動作用も行わせ得るからシャトルの駆動も制止も一つの装置で行わしめることができる。従つて従来の力織機の一大欠点であつた甚大なる騒音を殆んど解消して、騒音のきわめて少い力織機を作ることができ、その装置も割合簡単で従来の力織機の一部を改造すれば足りるという特長をもっている。

2. 原 理

誘導電動機の固定子を半分に分けてこれを直線状にしたと考えると、この直線状鉄心に3相交流を通ずれば直線移動磁界を生ずる。この移動磁界の移動速度は3相巻線の極間隔を τ 電源周波数を f とすれば $v_s = 2f\tau$ である。このような移動磁界中に導体を置けば、その中に2次誘起電圧を生じ2次電流が流れ、この電流と磁束との相互作用力によつて磁界

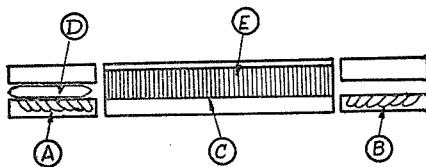
の移動方向に導体が運動することは、誘導電動機の原理と同じである。この際導体の速度は上記磁界の速度即ち同期速度 v_s からの滑りを s とすれば $v=2fc(1-s)$ であらわされる。例えば $f=50(c/s)$, $\tau=16(cm)$, $s=40(\%)$ とすれば $v=9.6(m/s)$ となつて普通力織機のシャトルの速度とほぼ同程度の大きさである。又 τ はそのまま $f=100(c/s)$ にするか或は f はそのまま $\tau=32(cm)$ とすれば $s=40(\%)$ で $v=19.2(m/s)$ となる。更に又 f 及び τ を共に大にすれば v はそれ以上に大にすることも可能である。

この際シャトルは他の電磁的方法のように鉄片或は永久磁石等の重量の大なる物を取付けることが不要で、又シャトルに通電する必要もないからシャトルの重量は余り大きくならず且つその構造も複雑とはならない。しかも又発進作用力は誘導電動機の場合と同じく強大である。



第1図

この誘導加速装置を第1図のように織機の左右枠箱の部分に取付け電源切換えのロータリ・スイッチを同じくボトム・シャフトに取付ける。ボトム・シャフトの回転によりこのロータリ・スイッチが回転し1回転で左右交互にスイッチが入るようにすれば、織機の回転と同期してシャトルの発進が行われる。第1図における主要部を抄出して見ると第2図の如くなる。A, B は誘導加速装置で C は枠摺, D はシャトル, E は箆である。



第2図

Aにスイッチが入り電流が流れるとシャトル D は B の方向に向つて発進し C を通つて B に入る。B に入る丁度その時、B にスイッチが入るようにロータリ・スイッチの構造を定めておくとそのため B に電流が流れ、これは常に A の方向に移動磁界が生ずるよつて作つてあるため、D の運動はこの反対方向の移動磁界により減速制止される。たゞこの際制止作用が強過ぎると一旦停止された後今度は逆に加速して A の方向にシャトルが飛び出す

ことになるから、制止作用は若干弱くしなければならない。殊にシャットルの運動方向と移動磁界の方向が逆で相対速度が大である時は、後で述べるように作用力が強いから磁界の強さはずっと小さくてよい。このため3相巻線の接続を発進の時は△接続に、制止の時はY接続になるように切換スイッチの接続をする。なお電磁的にのみ完全に制動するようにすると、不安定になることがあるからY接続に更に直列に抵抗を入れ多少余勢があるようにし、残りを機械的に制止するようにした。かくして制止されたシャットルDは次の箆打ちの一時期に再びスイッチがBに入れられることによりB中よりAに向つて発進し以下前述同様の動作が行われ、これが繰返されて織機の機能が遂行される。このような投杼装置を取付た織機を右側後方より見た有様を写真1に示す。

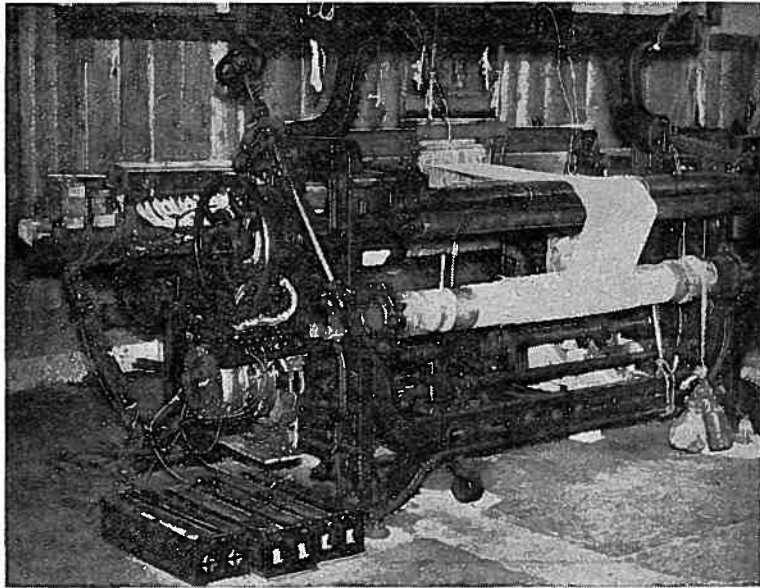
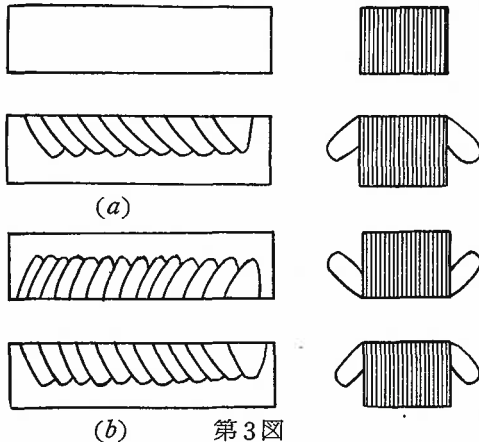


写真1. 電磁駆動装置を取付けた織機を右側後方より見る

3. 誘導加速装置

3-1 構造

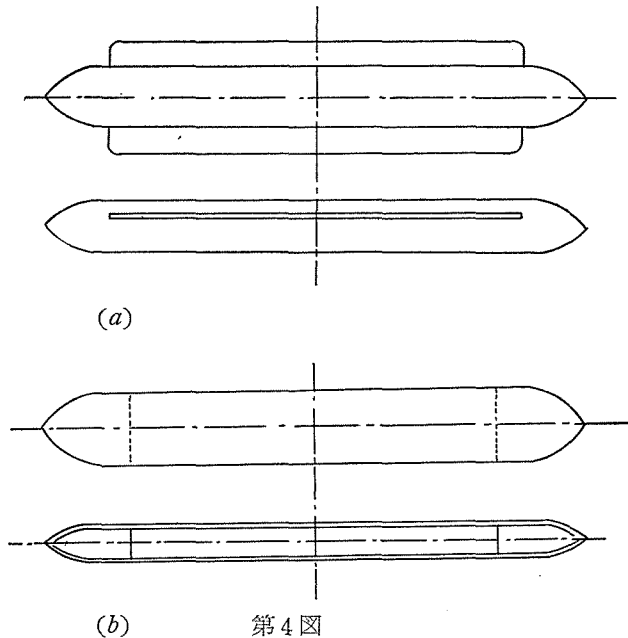
直線状鉄心を上下に設け下部鉄心にのみ3相巻線を施す場合と上下両方に巻線を施す場合の二つが考えられる。



場合の二つが考えられる。

第3図(b)の如く上下共に巻線を設けるのは起磁力を大きくする点及び有効磁束増加の点等より有利であるが上方鉄心に巻線を施すと巻線が作業に邪魔になる欠点をもつため(a)の如く下方鉄心にのみ巻線を施す方法を主に採用した。両鉄心間の空隙中に導体を置く必要があるため普通の回転機械と異つて空隙は相当大ならざるを得ず、このため無効電流が増大する。

シャットルの構造を第4図(b)の様に上下面に金属板をはりつけた型のものと同図(a)の様に一枚の金属板をシャットルにとりつけた場合の両方について実験を行つた。(b)の構造のものは鉄心間隔は30~50mmを要するが、シャットルの形は従来のものと大差なく、実際に織機に应用する場合は好都合である。然し上記の通り空隙が大であるから無効電流が非常に多くな

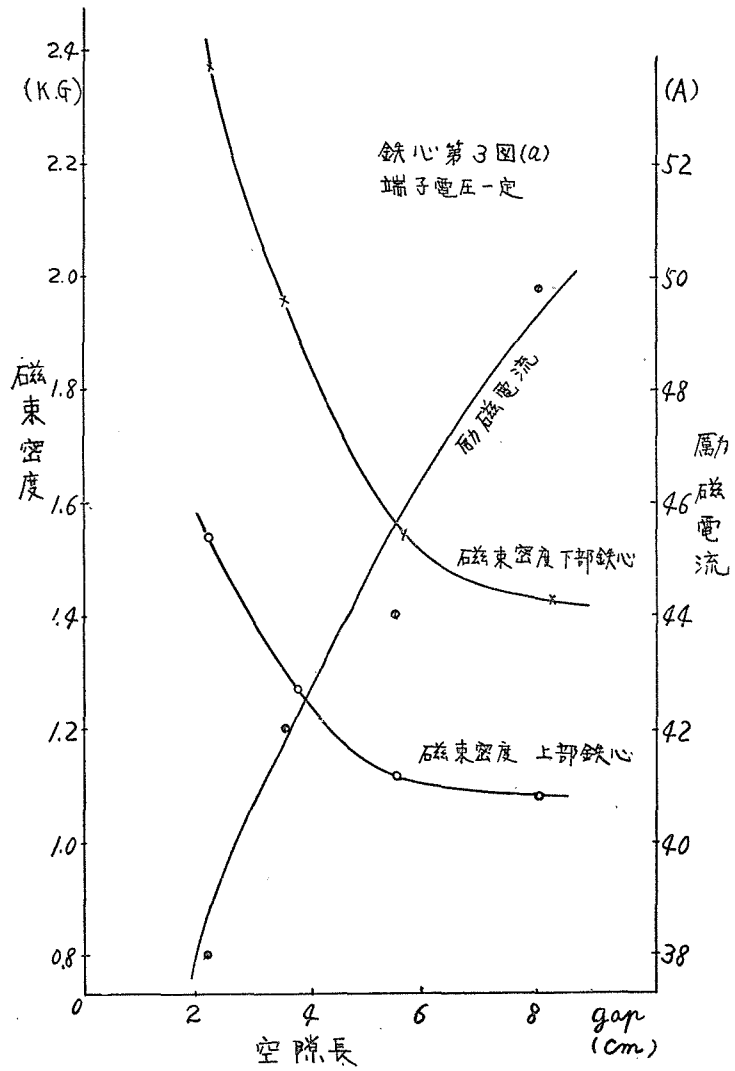


第4図

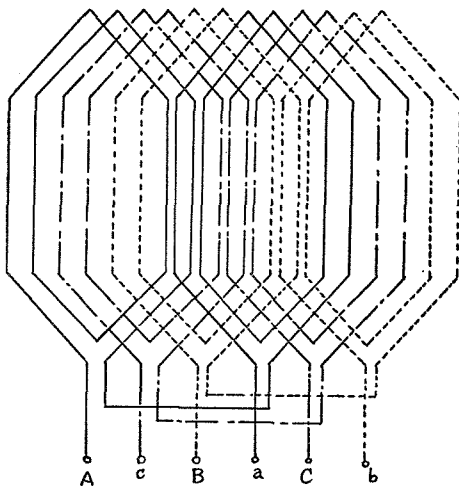
ざるを得ない。試作した一つの鉄心について空隙長対鉄心表面磁束密度及び空隙長対励磁電流を求めた結果は第5図のとおりである。図より明かなとおり空隙長が増加するに従つて漏洩磁束が増し、従つて有効磁束が減少するが空隙長が或る程度以上になるとほぼ一定に近づく。又空隙長に対する励磁電流も初めは直線的に増加するがだんだん漏洩磁束が増加するためほぼ飽和的になり、極端に云つて空隙長無限大即ち上部鉄心を取り去つても或る一定の電流に落ちつく。勿論この際の電流は相当大であり有効磁束が小であるから実用的に云つて感心しない。たゞこの様に上部鉄心を取り除いて下部鉄心のみを用いることは織機に应用する場合には必要な場合がある。例えば経糸のある杼摺面下にこの誘導加速装置を置いて積極的にシャットルを駆動しようとする場合等はこれを用いる以外にはない。この様な場合は無効電流を蓄電器等で補償してやれば或る程度の損失増加やその他の困難があつても実施し得られよう。

上述のように空隙長を出来得る限り小にしてやることは最も望ましい事柄であるので、シャットルの構造をかえて第4図(a)の如く作つた。即ち従来のシャットルに一枚の金属翼を取りつけた形のもので、シャットルの導入を容易ならしめるため、又経糸を損傷する恐れをなくするため、翼の取付けはシャットルの最下面とすることをさけ若干上部にとりつけてある。かくして金属板一枚の厚さに多少の余裕をつけた程度の空隙でよいことになり、空隙長を非常に小にすることが出来た。シャットルにこの様な邪魔物をとりつけることは多少の危懼の念も持たれるのであるが実際には支障なく動作した。

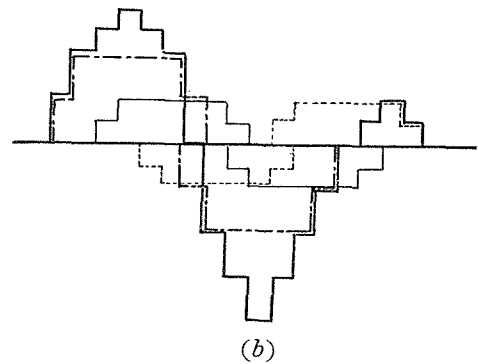
次に捲線について述べれば、廻転機械にあつては線輪の分布は端がなく、最後の線輪は最初のそれに重なり得るから、各相の線輪の磁束鎖交は極めてよく対称性を保つことができる。然るに直線状鉄心に於てはこの様なことが出来ないから、端部線輪はそのまま孤立してしまう。これは第6図を見れば明瞭で、更にこの様な捲線によつて生ずる磁束分布は同図(b)に示す如く非対称となる。この場合一つ線輪によつて生ずる磁束の分布は矩形分布



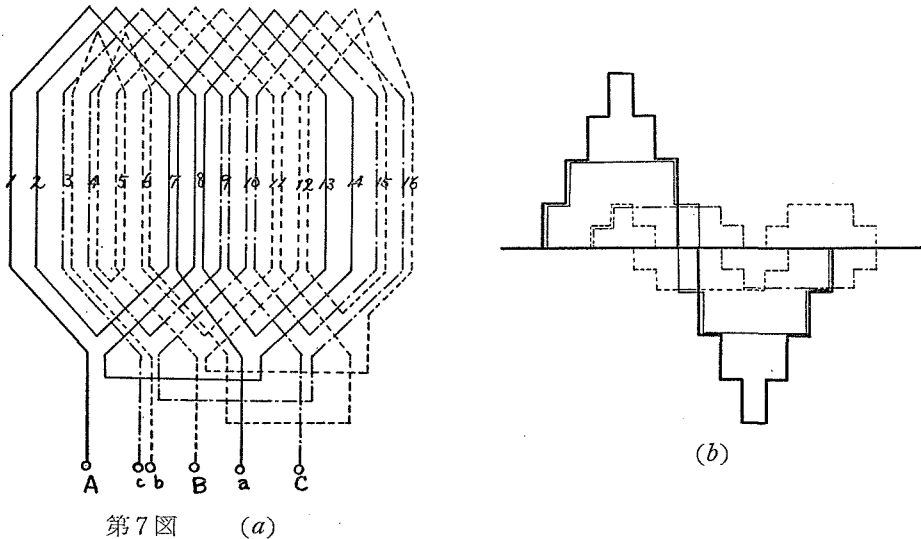
第5図



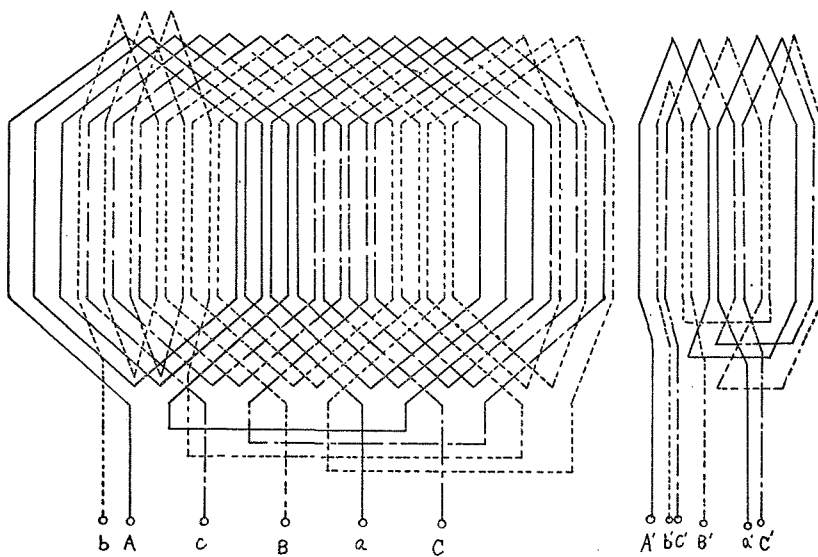
第6図



をなしているものとし、一相二線輪直列とし第一相最大の瞬間の場合の磁束分布を示した。又この場合に一溝に一本の線輪と云う溝が多く出来て、鉄心長に於て相当無駄を生ずる。このため端部に於て多少の修正を施して直線配列に於て合理的な形に作った。その例は第7図の如くである。即ち或る一相の線輪を最後に於て縮小し余った分を小線輪にし

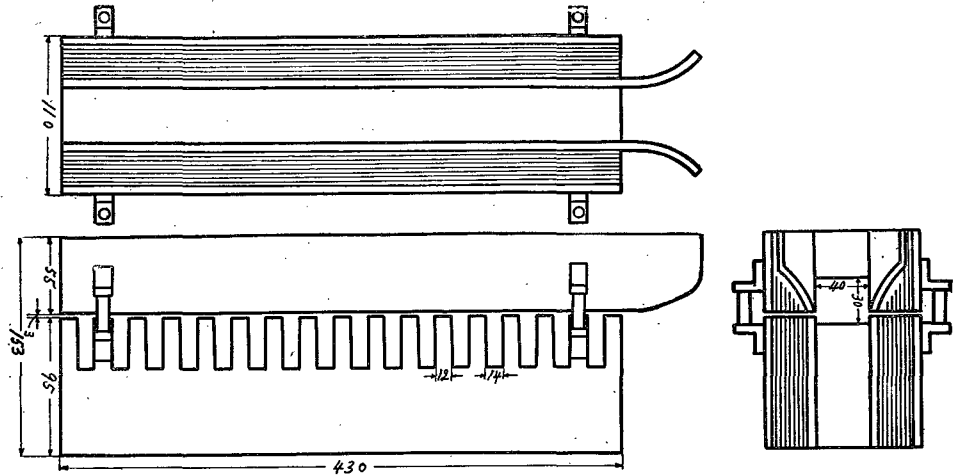


て始端に於て重ねるようにした。このため鉄心長を節約することが出来、更に磁束の分布の対称性も極めてよくなり第7図(b)の如く上下対称のほぼ正弦波的になった。この際各相の電流分配もほぼ対称的となり実験の対称性もよい事が実験的に知られた。シャトルがこの加速装置により発進させられる場合、速度零の状態から発進するから最初の部分に極間隔のせまい別箇の発進用捲線を用いて見た(第8図)。然し実験の結果はほとんどシャ



ツトルの速度に変化のないことが知られたのでその後はこの捲線を用いなかつた。

鉄心長、鉄心積厚、極数、線輪数、捲数等種々変えて実験を行つた。その試作の二、三を書くと第一表の通りである。これ等の中で前述のとおり杼を上下二枚の金属板を用いたものと一枚のみ用いたもので、その空隙が非常に違うので従つて構造も異なる。金属板一枚のみ用いる方法ではシャツトルそのものゝ通る所と金属板の通る所とを別にして第9図の



第9図 鉄心組立図

如き構造とした。即ち杼道は木部でそれに溝を切り木部をはさんで珪素鋼板を重ねてしめつけその全部にまたがつて線輪を挿入した。

第 1 表

	No. 6	No. 7	No. 8	No. 10
金 長	500mm	680mm	585mm	400mm
鉄心積厚	30mm	30×2 "	30×2 "	30×2 "
鉄 心 巾	50 "	50 "	50 "	50 "
	70 "	70 "	70 "	70 "
極 数	2	4	2	2
線 輪 数	21	26	21	14
線 輪	0.8mm綿巻線 70T	全 右 60T	全 右 60T	全 右 60T
溝 数	24	28	24	16
構 造	大空隙	小空隙	小空隙	小空隙
工 作	シエーバー加工 板間及びボルト絶縁	鉄板プレス打抜	プレス打抜 板間及びボルト絶縁	プレス打抜 板間絶縁

以上の諸試作中 No. 10 のものは全長が最も小であり、従来の織機の杼箱と大体等しい大きさであるから従来の織機に直ちに取付けることが出来、便利であるのでこの装置をとりつけたもので実験を行つた。

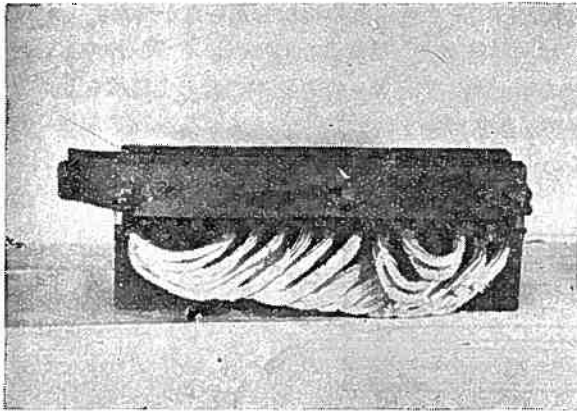


写真 2. 試作電磁駆動装置の一例

試作した電磁駆動装置の一例を写真 2 に示す。

これ等の試作品を用いてシャットルを駆動した場合のシャットルの最終速度を実験的に求めた。これは床上 y cm の所に於て水平にシャットルを放ち、床上に落ちるまでの距離 x cm を求めることから次の如くして速度を求めた。第10図に於て水平速度は簡単に

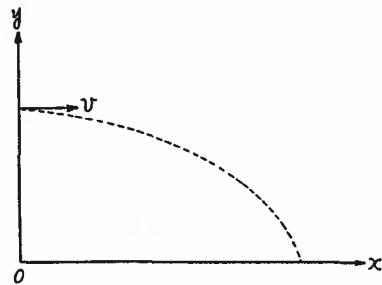
$$V = x \sqrt{\frac{g}{2y}}$$

である。但し g は重力の加速度。

即ち空気抵抗その他がない理想的落下物体として取り扱うことに依りその水平速度の大体を求めることが出来る。この方法は実験方法として最も簡単であるため大略のシャットル速度の測定には便利であるから一応この方法に依った。

原理の項に於て述べた様に周波数が大になると移動磁界の速度が大になるから、従つてシャットルの速度も大になる筈であるが捲線と電圧がその

まゝでは入力が小となり、従つてシャットル速度の向上は見られないから、この点を考慮に入れて 100 サイクル用に捲線を変えてやるか、捲線がそのまゝであれば 50 サイクルの場合の電圧を 2 倍にしてやる必要があることはいうまでもない。或は又最初のスタートの際は 50 サイクルで割合低速で行い後 100 サイクルで加速してやればよい。即ち No. 7 の 50 サイクル用に設計した加速装置と No. 8 の 100 サイクル用に設計した装置を一直線上に並べ最初 No. 7 で加速した後 100 サイクルで No. 8 を加速した所、大体 50 サイクル装置 1 ケの場合の 2 倍近い速度が得られた。

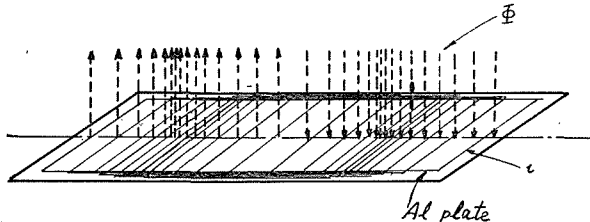


第10図

3 - 2 シャットル

上下両鉄心間の空隙は出来るだけ小であることが望ましいが、この空隙の中に金属板が自由に出入することが必要であるため、ある程度以上にはこれを縮めることは出来ない。然し出来るだけこの間隙を小にするためにはシャットルの構造を改良し誘導加速装置に適するようにする。このため前項に於て述べたように従来の織機のシャットルとは異なる金属翼付のシャットルを試作し、この翼が鉄心間の空隙に挿入され自由に運動出来るようにし

た。試作したものは厚さ $1 \sim 2 \text{ mm}$ のアルミ板の翼を取付け、この翼板が鉄心空隙に入り、シャトル木部は鉄心間の別に設けられた中央部の大きな空隙部を通過するようにした。このようにすると上下鉄心間隙を 3 mm 程度にすることが出来、更に工作精度を向上すればそれより小にすることが出来る。この金属板中に誘導する電流の分布はその部分を通る磁束密度に比例すると考えられるから、その分布の有様は大抵 第11図 の如くなる。



第11図

翼板の縁端部に於ては電流は同方向に流れこの部分に集中することが知られる。更にこの部分の電流は磁束の鎖交部より遠ざかる様に押しやられる結果、電流の集中が甚だしくなり電圧降下が大きくなり

実効抵抗は大となる。この様な欠点をなくするためには、縁端部を鉄心外に出し磁束に交らない部分を作つてやる必要があるが、然しそのようにすることは、いたずらに金属板の幅を大にしてやることになりシャトルの形体としては不適である。そのため鉄心外部に出した翼部分は、上方に直角に折りまげ更にこれを二重に折りまげて、端部の抵抗を出来るだけ小にしてやるように作つた。シャトルの走行における安定度をよくするため、翼板はシャトルの出来るだけ下部に取付ることが必要であるが、又たて糸開口の中を走行する際の事を考慮し、たて糸を損傷しないためにシャトル底面より 5 mm 上部に取付けた。後に述べる様に金属板の抵抗は出来るだけ小である方がよく、又重量は出来るだけ小である方がよい。従つて翼板の材料は比抵抗と比重の積の最小のものがよく、そのためアルミニウムが最適であることが知られ、これは後述の実験結果にもよくあらわれている。

誘導電動機に於る最大回転力の条件は、二次回路のリアクタンスを x_2 、同じく抵抗を r_2 、滑りを s とすると $s x_2 = r_2$ であることは衆知の通りである。即ち起動の際に最大回転力が得られるようにするには $s = 1$ と置いて $x_2 = r_2$ なる条件を満足すればよい。誘導電動機は一般に $x_2 > r_2$ なるため、起動回転力を大にするためには起動抵抗を2次回路に挿入する。しかるにこの誘導加速装置は原理としては誘導電動機と同じであるが、構造上空隙が相当大(同一定格の誘導電動機の場合の約10倍)であり、2次回路に当るシャトルの翼板は無鉄心であるから、当然この2次回路のインダクタンスが小で抵抗が大、即ち $x_2 < r_2$ である。従つて起動駆動力を大にするためには翼板の抵抗を小にする必要があり、これには固有抵抗の小さい金属が適当であり翼板の厚さは大なる程よいことになる。シャトルの速度を大にするには、作用力が強大である事の外に重量が小であることが必要であるから、結局前述のように比抵抗と比重の積の最小な金属が翼板として最も適することになることは当然であり、そのためにはアルミニウムが一番よいことになる。又 r_2 を小にするには翼板の厚さが大なることが必要であるが、厚さを余り大にすることは、鉄心間隔を大にすることであり励磁電流の増大を来し又重量の増大を来す結果になるから、いたずらに厚さを増すことは害あつて益はあまりない。実験の結果から適当な厚さはアルミニウムを用いた場合 1 mm 程度であつた。翼板の重量と厚さを増さないで r_2 を減小せしめる有力な方法は前述の翼端の折曲げであり、これにより r_2 を可成り減小させそのため作用力が増大しシャトルの速度が増加する。二三の実験結果を示すと次表のとおりである。

第 2 表

	Al板(2%厚) 単板折曲げなく 鉄心外へのはみ 出しなし	Cu板 (0.5%厚) 一重折り	Cu板 (0.8%厚) 一重折り	Al板 (1%厚) 一重折り	Al板 (2%厚) 一重折り	Al板 (1%厚) 二重折り	真鍮 (1%厚) 一重折り
最終 速度	6.7 m/s	7.2m/s	8.0m/s	9.0m/s	9.0m/s	10.5m/s	5.4m/s

但し翼板の寸法はいずれも $35 \times 11.5\text{cm}$ 、折曲げの高さは 1.3cm とした。縁を折り曲げない時は Al 板の厚さは 2mm であるにかゝらず、厚さ 1mm の二重折りに比べて速度はずっと小さく、後者は前者に比べて約57%の速度増加を見た。又一重折りの場合は約35%の速度増加である。又銅板の場合は固有抵抗は少いが重量が大であるため、速度は Al 板に比べて大とはならない。更に真鍮板の場合は重量も固有抵抗も大であるため速度はずっと小で問題にならない。この速度の測定方法はインダクタンス変化法に依つたもので前述の飛距離に依る算定より確実で、又加速曲線の全般を知るに便利である。尙この測定法については後述する。

試作したシャットルの一例を写真3に示す。

3-3 シャットルの加速に関する理論的考察

加速装置の構造は直線状鉄心に直線配置をした捲線をもつ下部鉄心と、これに対し若干の空隙を隔てゝその上部に装置した直線状鉄心とからなり、上下鉄心間の空隙を Al 板の翼をもつたシャットルが自由に進行出来るようになっていることは、前項に於て述べたとおりである。このような装置の空隙に於ける磁束密度は、大体正弦波形と見做して差支えなく、この磁束が

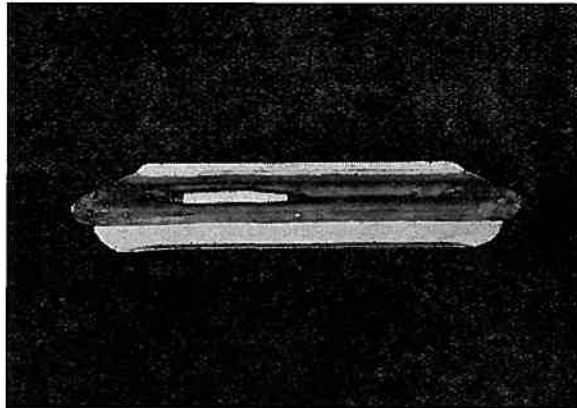


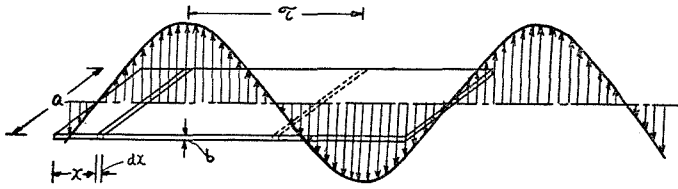
写真3. 試作シャットルの一例

同期速度 v_s 、即ち $2\pi f$ の速さで進行する進行波を形造っている。但し τ はこの装置の極節、 f は電流の周波数である。このような装置が、極数が多くその長さが極節に比べて充分長い場合と、只単に二極のみで極めて短い場合の二通りが考えられる。例えば前者のように長い場合はフェルト織機等の長尺織機用として適当な装置と考えられ、後者は普通綿織機等の短尺織機用として適当と考えられる。次にこれらの二つの場合について考察してみる。

(a) 長い加速装置の場合

この場合は加速装置は充分長いものとして正弦波形の磁束が限りなく続き、これが進行波形を形作り、この中に長さ1波形の導体板が置かれたものとする。矩形導体板に交る磁束密度は次の如くなる。

$$B = B_m \sin \frac{\pi}{\tau} \left\{ x - v_s (t - t_0) \right\} \quad (1)$$



第12図

るから、微小幅 dx の板中の誘導電流の閉路は極節を隔て描くことが出来る。その閉路の抵抗は、それ故

$$r = \rho \frac{2(a' + a\tau)}{b dx} \quad (2)$$

a は磁束の交っている幅、 b は翼板の厚さ、 a' はアルミ板の幅の実際値である。 a' は磁束の交らない部分も含むので a より大になる。尚 b はアルミ板の厚さ、 ρ は板の固有抵抗でアルミニウムの場合は $2.62 \times 10^{-8} \Omega - m$ である。この閉路に生ずる起電力はシャットルも或る速度で同時に同じ方向に動くとする、

$$e = 2Ba(v_s - v) = 2B_m a(v_s - v) \sin \frac{\pi}{\tau} \{x - v_s(t - t_0)\} \quad (3)$$

但し v : シャットルの速度

閉路の抵抗はインダクタンスに比べて相当大きい。何となればインダクタンスは空隙が大きい、割合小で又電流が周辺部分に於て集束されるため、等価の抵抗は相当大くなるためである。この集中作用のための抵抗値の増加を (2) 式中に於て a をもつて表してある。この様に閉路の抵抗分が大きいと考えると閉路のインピーダンス Z は、 $Z \approx r$ として差支えない。従つて閉路中に流れる電流は、

$$i = \frac{b dx}{\rho(a' + a\tau)} B_m a(v_s - v) \sin \frac{\pi}{\tau} \{x - v_s(t - t_0)\} \quad (4)$$

となる。この電流と磁束とが鎖交して生ずる力は、

$$\begin{aligned} df &= 2 Bai \\ &= \frac{2b}{\rho(a' + a\tau)} B_m^2 a^2 (v_s - v) \sin^2 \frac{\pi}{\tau} \{x - v_s(t - t_0)\} dx \end{aligned} \quad (5)$$

従つて全部の電流及び磁束に依る電磁力は次の如くなる。

$$\begin{aligned} F &= \int_0^\tau df = \frac{2b}{\rho(a' + a\tau)} B_m^2 a^2 (v_s - v) \int_0^\tau \sin^2 \frac{\pi}{\tau} \{x - v_s(t - t_0)\} dx \\ &= \frac{b\tau}{\rho(a' + a\tau)} B_m^2 a^2 (v_s - v) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{1}{m} F \quad \text{但し } m : \text{シャットルの質量}$$

即ち

$$\frac{dv}{dt} = \frac{b\tau a^2 B_m^2}{\rho(a' + a\tau)m} (v_s - v) \quad (7)$$

$$= k(v_s - v) \quad (7')$$

$$\text{但し } k = \frac{b\tau a^2 B_m^2}{\rho(a' + a\tau)m} \quad (8)$$

である。

(7) の運動方程式をとくとシャットルの速度 v は簡単に求まる。

(7) 式から

$$\log (v_s - v) = -k (t + c)$$

$$\text{或は } v_s - v = e^{-k(t+c)}$$

$$= A e^{-kt}$$

(9)

但し A は積分常数

$t = 0$ に於て $v = 0$ であるから

$$A = v_s$$

従つて

$$v = v_s \left\{ 1 - \exp \left(- \frac{b\tau a^2 B_m^2 t}{\rho(a' + a\tau)m} \right) \right\} \quad (10)$$

次に加速装置の途中のある一定の場所における速度を求めるに

$$\begin{aligned} x &= \int_0^t v dt = \int_0^t v_s (1 - e^{-kt}) dt \\ &= v_s t + \frac{v_s}{k} e^{-kt} + c' \end{aligned} \quad (11)$$

$t = 0$ に於て、 $x = 0$ であるから

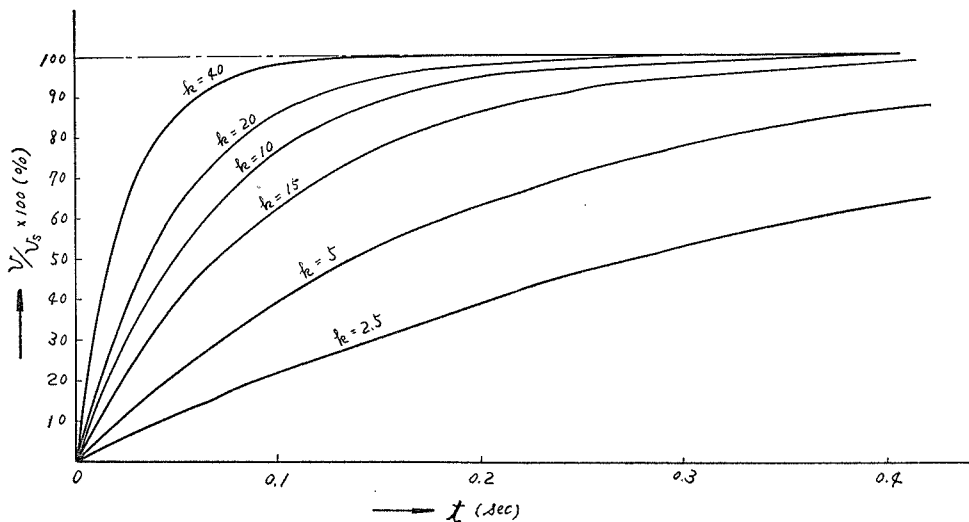
$$c' = -\frac{v_s}{k}$$

$$\therefore x = v_s \left(t + \frac{1}{k} e^{-kt} - \frac{1}{k} \right) \quad (12)$$

(10)式と(12)式とから t を消去すれば x と v の関係式が求まる。その結果

$$\left(1 - \frac{v}{v_s} \right) e^{\frac{v}{v_s}} = e^{-\frac{kx}{v_s}} \quad (13)$$

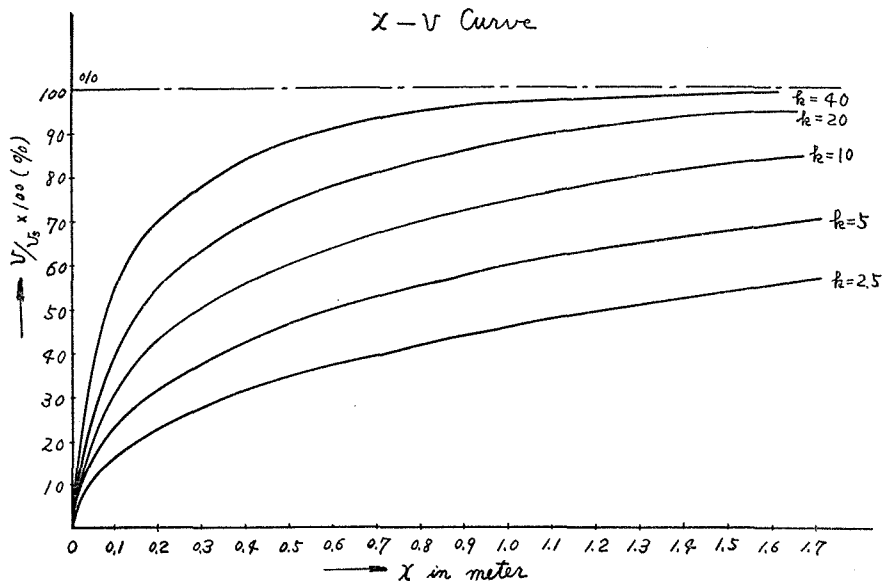
(10)式を計算シグラフに描くと 第13図 の如くなる。即ち k をパラメーターにとつて $k = 1$ から $k = 40$ まで変化シグラフを描くと実線に示す如くなる。 k が大であると



第13図

短時間で同期速度に達するが小であるとなかなか同期速度に達しない。この k の値は (8) 式に示されるように b , a^2 及び B_m^2 に比例し ρ と m の積に逆比例する。従つて金属板の厚さ及び幅を大にすればよいが、厚さを大にすれば空隙長が大となり励磁電流が増大する故その点から制限されるし、又幅もあまり大とすることが出来ない。従つて出来得る限り B_m を大にする様に設計する必要がある。又金属板の固有抵抗 ρ と質量 m の積は金属板の形が一定であればその金属の種類で定まる。この $\rho \cdot m$ の最小の金属を探せばアルミニウムであるからアルミニウム板が最適と云うことになる。又シャットルの他の部分の重量を削減することも必要であろう。これは従来のシャットルのように衝撃力で駆動、制動が行われるのでないからあまり機械的強度を大にする必要がなく、従つて相当軽くすることが出来る筈である。

又(13)式に依つて計算した結果 x と v の関係が求まる(第14図)。即ち第14図は加速装



第14図

置各部分に於る速度を表す。この図から明かなように速度は指数函数的に増大し、或る長さ以上に於ては殆んど飽和となる。

シャットルを固定すると、 $v = 0$ であるから (7) 式から直ちに

$$\begin{aligned} k &= \frac{1}{v_s} \frac{dv}{dt} \\ &= \frac{1}{v_s} \cdot \frac{F_0}{m} \end{aligned} \quad (14)$$

となり固定するに要する力 F_0 と、シャットルの質量 m を測定することに依つて k を求めることが出来る。2mm 厚の Al 板を用いその幅を鉄心の幅と大体等しくし、鉄心外にはみ出さないようにして力を測定すると 6~10kg であつた。従つてこの場合 k の値は 12.5~20.8 となる。又

$$b = 2 \times 10^{-3} (m), \quad B_m = 0.5 (w/m^2), \quad v_s = 16 (m/s),$$

$$\tau = 0.16(m), \quad \rho = 2.62 \times 10^{-8} (\Omega \cdot cm), \quad a = 0.04(m), \quad a' = 0.08(m)$$

として

$$k = \frac{b\tau^2 B_m^2}{\rho(a' + a\tau)m}$$

中にこれらの値を代入して計算すると、 $a = 4.35 \sim 7.6$ となり、 a 即ち 縁端部に於る電流の集中係数は約 5 程度となることが分る。又 Al 板の幅を広げ鉄心外に約 $1.5cm$ ずつ両側にはみ出させて F_0 を測定すると F_0 の値は約 $20kg$ にもなった。この場合の k を求めると、 $k = 41.6$ になり a の値は 1.95 となる。従つてこのように導体板の幅を広げて鉄心外に出し、或は鉄心外に出して折り曲げることは、作用力を非常に増大せしめシャットルの速度を向上せしめるのに極めて有効な方法であることが知られる。 k を増大せしめるにはその外、 B_m を増加せしめることが有効な方法で、 k は B_m^2 に比例するから少しの B_m の増加が k の増加に大いに役立つ。 B_m を増加せしめるには空隙長を出来るだけ小にすることが必要で、これは工作の精度を上げることにより或る程度達成することが出来る。従つて a の減小、 B_m の増大をはかればシャトル速度を更に向上せしめることが可能である。

(b) 短い加速装置(2極)の場合

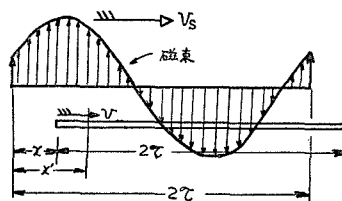
普通織機の場合は出来るだけ織機の幅が狭いことが望まれ、この場合には2極投杼装置が用いられねばならない。この装置の長さは極節の約2倍で付属装置を入れるとこれより若干長くなる。又金属板の長さもその中に於る電流通路を考えると極節の2倍、即ち1波長が最適であるから大体そのように作った。今このような長さの鉄心空隙中にその長さと等しい金属板が挿入され捲線に通電したとした時、金属板に作用する力並に金属板の運動について考察して見よう。

前項の場合と全く同様に x' 点における電流束は

$$i = \frac{bdx}{\rho(a' + a\tau)} - a(v_s - v) B_m \sin \frac{\pi}{\tau} \left\{ x' - v_s(t - t_0) \right\} \quad (15)$$

この電流束に働く電磁力は、

$$\begin{aligned} df &= B a i \\ &= \frac{ba^2(v_s - v)B_m^2}{\rho(a' + a\tau)} \sin^2 \frac{\pi}{\tau} \left\{ x' - v_s(t - t_0) \right\} dx' \\ &= \frac{ba^2(v_s - v)B_m^2}{2\rho(a' + a\tau)} \left[1 - \cos \frac{2\pi}{\tau} \left\{ x' - v_s(t - t_0) \right\} \right] dx' \end{aligned} \quad (16)$$



第15図

全体に作用する力 F は

$$\begin{aligned} F &= \int_x^{2\tau} \frac{ba^2(v_s - v)B_m^2}{2\rho(a' + a\tau)} \left[1 - \cos \frac{2\pi}{\tau} \left\{ x' - v_s(t - t_0) \right\} \right] dx \\ &= \frac{ba^2(v_s - v)B_m^2(2\tau - x)}{2\rho(a' + a\tau)} - \frac{ba^2(v_s - v)B_m^2\tau}{2\rho(a' + a\tau)\pi} \sin \frac{\pi}{\tau} (2\tau - x) \cos \frac{\pi}{\tau} \\ &\quad \times \left\{ 2\tau + x - 2v_s(t - t_0) \right\} \end{aligned} \quad (17)$$

従つて作用する力は時間的に脈動する力になるが、今シャットルの速度が v_s より小とするとシャットルに働く力の効果としては、この値の平均値と考えて大体間違いない。この平均値を求めると第2項は零となり、結局

$$F = \frac{ba^2(v_s - v)B_m^2(2\tau - x)}{2\rho(a' + a\tau)} \quad (18)$$

となる。シャトルは自由に動き得るものとし摩擦抵抗その他を省略して考え、 $F = m\ddot{x}$ とおくと

$$m\ddot{x} = \frac{ba^2B_m^2}{2\rho(a' + a\tau)} (v_s - v)(2\tau - x) \quad (18')$$

従つて

$$m\ddot{x} + \frac{B_m^2ba^2(2\tau - x)}{2\rho(a' + a\tau)} \dot{x} + \frac{B_m^2ba^2v_s}{2\rho(a' + a\tau)} x = \frac{B_m^2ba^2 \cdot 2\tau v_s}{2\rho(a' + a\tau)} \quad (19)$$

或は

$$\ddot{x} + \frac{h}{m} (2\tau - x) \dot{x} + \frac{hv_s}{m} x = \frac{2\tau hv_s}{m} \quad (20)$$

これは非線型微分方程式であつて普通の解法では解けない。そこで Jacobsen⁽⁶⁾ - 武井⁽⁶⁾ の位相面 δ 法に依つてこれを解いた。以下簡単にこれについて述べる。

$$\frac{hv_s}{m} = p^2, \quad u = \frac{\dot{x}}{p} \quad (21)$$

とおくと

$$\ddot{x} = p \frac{du}{dt} = p \frac{du}{dx} \dot{x} = p^2 u \frac{du}{dx} \quad (22)$$

となるから(20)式は

$$p^2 u \frac{du}{dx} + \frac{h(2\tau - x)p}{m} u + p^2 x = \frac{2\tau hv_s}{m} \quad (23)$$

或は

$$u \frac{du}{dx} + \frac{h(2\tau - x)}{mp} u + x = \frac{2\tau hv_s}{mp^2} \quad (23')$$

従つて

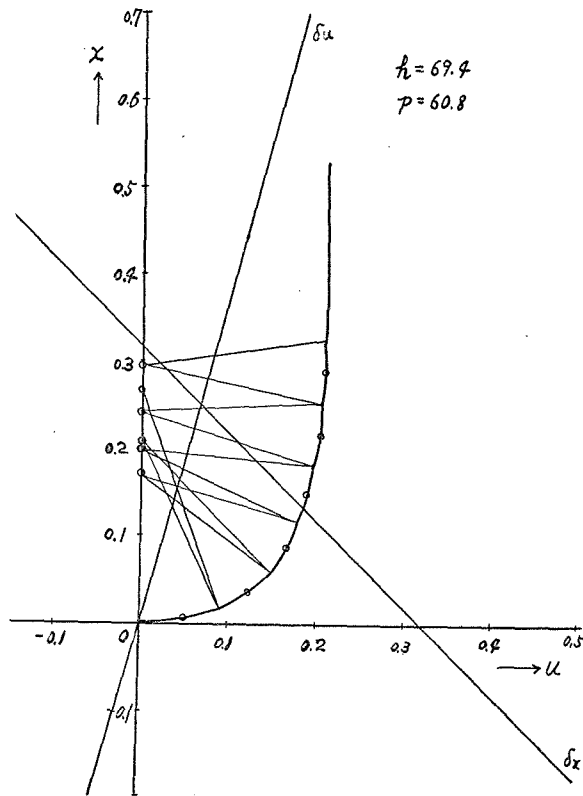
$$\frac{du}{dx} = - \frac{u}{x + \frac{h(2\tau - x)}{mp} u - \frac{2\tau hv_s}{mp^2}} \quad (24)$$

$$\left. \begin{aligned} \delta &= \frac{h(2\tau - x)}{mp} u - \frac{2\tau hv_s}{mp^2} \\ &= \delta_x \delta_u - \delta_o \\ \delta_x &= 2\tau - x \\ \delta_u &= \frac{h}{mp} u \\ \delta_o &= \frac{2\tau hv_s}{mp^2} \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

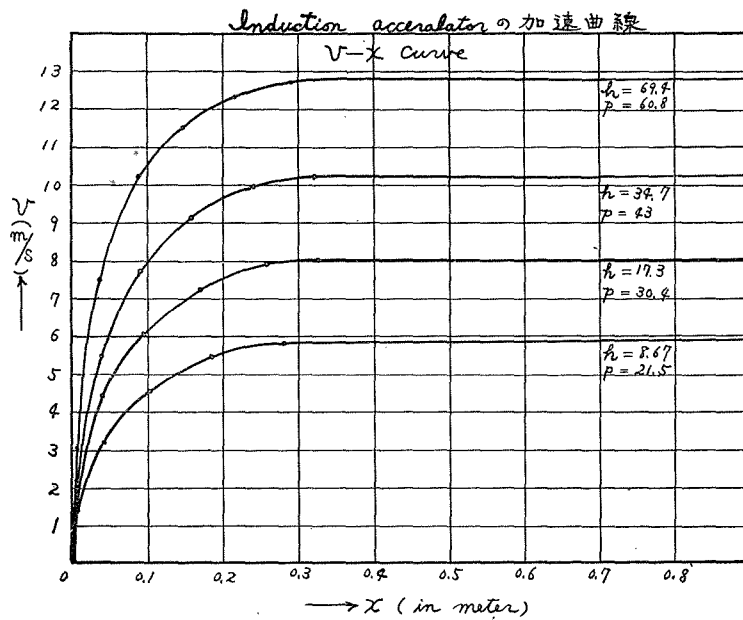
とおくと

$$\frac{du}{dx} = - \frac{u}{x + \delta} \quad (26)$$

が得られる。これから u を横軸、 x を縦軸とした所謂位相面上に作図法に依る位相面 trajectoriesを描くことが出来る。その1つの例を示すと 第16図 の如くなり、 h の



第16図



第17図

種々の値に対して求め、 $v = up$ に依つて u の値を速度 v に直した結果を一まとめにして示すと第17図の如くなる。

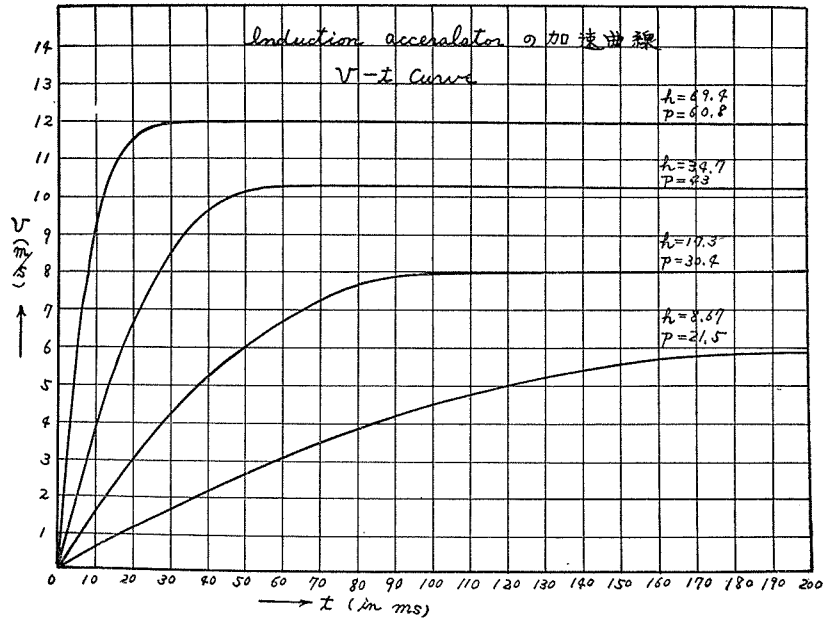
更に、

(27)

$$dt = d\theta/p$$

なる関係から第17図の $x - v$ の関係を

$t - v$ の関係に直して図に描くと第18図の如くなる。



第18図

但し以上の計算は

$$B_m = 0.5 (\text{Weber}/m^2)$$

$$b = 2 \times 10^{-3} (m)$$

$$v_s = 16 (m/s)$$

$$\tau = 0.16 (m)$$

$$\rho = 2.62 \times 10^{-8} (\Omega \cdot m)$$

$$a = 0.04 (m)$$

$$a' = 0.08 (m)$$

$$m = 0.3 (kg)$$

$$\alpha = 2 \sim 10$$

と取つて計算した。

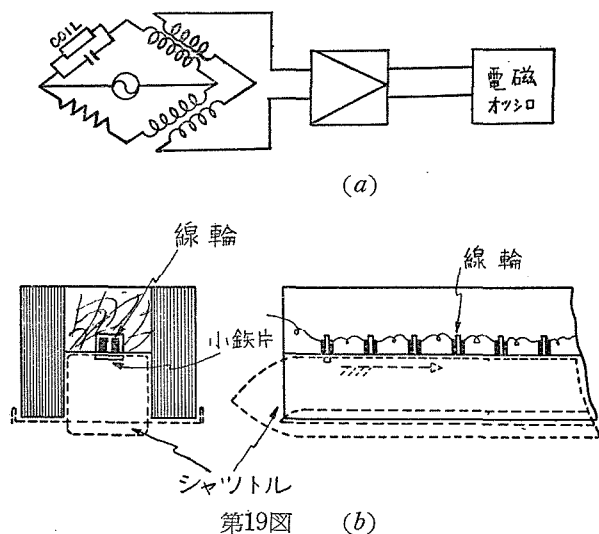
h の値は以上の値を代入して計算すると、前項に述べたパラメータ k と殆んど等しく、 $h \doteq k$ とすることが出来、(a), (b) 項の二つの場合を比較対照することが出来る。前項 (a) の場合は、シャトルの速度 v は t が大になると v_s に漸近するが、本項 (b) の場合は短時間に一定値になり v_s にはならない。これは当然で短い加速装置で加速すると、その一方、加速装置の端部から金属翼が抜け出して行くから作用力が減小し、完全に抜けてしまえば作用力は全然なくなり、それ以上の速度増加はあり得ないからである。シャトルの

実験結果によるとこの計算結果と大体よく一致し理論式の妥当性を示している(第20図)。

3-4 シャツトルの加速曲線の測定

シャツトルの速度測定の簡単な方法は、前に述べたようにシャツトルを或る高さにおいて水平に飛ばし、その自由飛行距離を測定することによって測定する方法である。この方法は極めて簡単に加速装置に依り加速されたシャツトルの最終速度を測定することが出来るが、加速途中の速度曲線を知ることが出来ないし、それに測定結果の精密度も多少劣る。これに対し更に精密な加速曲線を得るため次のような実験を行った。

加速装置の上部鉄心間隔木片中に、等間隔に小型 E 型 ダストコアに捲いた線輪を若干個装着し、これを直列に接続し更に外部に蓄電器をこれら線輪群に並列につなぎ、これを一辺としてブリツヂを構成する。

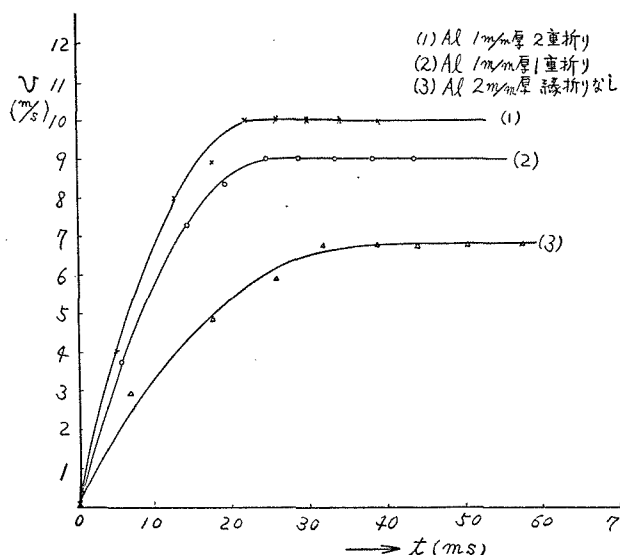


第19図

ブリツヂの電源発振器の周波数を加減して L-C の同調を取り、その周波数に於てブリツヂのバランスを取つて置く。シャツトルの木部の上面に棒状のダストコアをうめ込みシャツトルが走行するとその棒状鉄心が次々に上部に設置した小線輪に近づくに離れて行くようにしてある。若し棒状鉄心が一つの小線輪に接近するとそのインダクタンスが変化し、従つてブリツヂのバランスが若干くずれ外部に電圧の変化を与える。

これを増幅、検波して電磁オツシロに入れて記録させる。この記録と並列に 1 kc の交流電圧も同時に記録せしめ、これを時間の目盛とし 1/1000 秒単位で時間を読むことが出来るようにした。

この方法によると測定するための附加物はシャツトルの運動に殆んど影響を与えず速度



第20図

を正確に測定出来る。

実験に用いたシャットルの翼板は長さ 35cm 、幅 11.5cm (折曲げ縁のないものは 9cm) の同一寸法のもので、材料及び折曲げ縁の形、厚さ等を種々変えて測定を行つた。その結果は 1mm 厚の Al 板で縁を二重折りにしたものが最もよく、銅板、真鍮板等はこれより劣ることが判つた。測定した加速の最終速度については前述の通りであるが、加速過程の全部にわたつての測定結果の二三の例は第20図の通りである。この図から知られるように前節において述べたように理論的に求めた短い加速機における加速特性とほぼ一致し、理論と実験が割合によく合っていることを示している。

4. 共振型揺動箴框

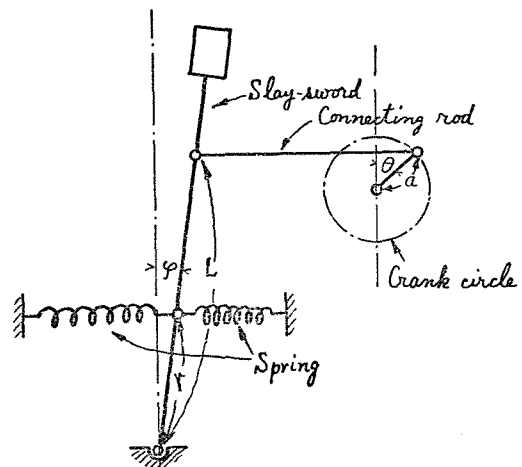
4-1 緒言

力織機における主要運動である箴框の揺動は箴框の慣性能率が相当大であるため、この揺動を行わしめるに必要な回転力は $1/4$ 周期毎に正負に大幅に変動しこれが織機の回転むらの原因となる。このような回転むらを軽減するため従来はクランク軸に弾み車を装着してあるが、あまり大きな弾み車を用いると起動時の過渡回転力が大になって、起動が困難になるから余り大なる弾み車は用いることができず、従つてこのような織機にあつては回転力の変動或は回転むらは避けられない。特に電磁投杼装置はその重量が大であるため、これを取付けると箴框を揺動せしめるための動力が大きく変動し、このまゝでは従来の織機より不利である。

筆者はこのような動力変動と回転むらをなくするため箴框脚にバネを取付け、箴框の慣性能率をこのバネを用いて打消すことにより、慣性による回転力の変動を全く除去するか或は軽減することを試みた。周知の通り振動系においてバネの性質は、慣性とは 180° の位相差を有している故、慣性体とバネを組合わせれば自由振動を起し、又外部からこの系に強制振動を加える時その慣性体の質量或は慣性能率とバネの強さを適当に取れば強制振動周波数と共振せしめることができ、摩擦に打勝つだけの小さい力を加えてやるだけで振動を持続でき、又回転力の変動従つて回転むらが全然なくなる。又完全に共振状態に持ち来たさない場合にもバネによつて慣性は打消されるから慣性体のみの場合よりも小さい力で駆動でき回転力の変動もずつと少くすることができる。しかしこのような事柄は定常状態においては極めて自明の事柄であるが、さてこのような織機を起動する時はどうか。そこでこのような織機の起動時における過渡現象を解いて見た。その結果ある特定の角度からすればバネを附した方が過渡現象が少く、直ちに定常状態に入りその後は勿論上述のように回転力の変動が全然ないという風に理想的運転ができることがわかつた。

4-2 箴框の起動時における過渡現象

第21図に示す如く箴框の下部にバネ



第21図 バネを附した箴框脚と各部記号

を取付けクランク角 θ から急に起動した時の箴框の運動を考える。一般に箴框は大きな慣性能率をもっているから、これを急に一定速度に加速するためには無限に大きな力を必要とする。しかし伝動機構としてベルト或はクラッチ等を用いるとこれには必ず滑りがあるから、この滑りを介して徐々に加速され駆動部の速度と、被駆動部の速度が等しくなるまで加速されると滑りが止んで定常状態に入ると考えられる。これまでが過渡現象で箴框の速度は徐々に上昇し駆動力は無限大でなくても起動できる。このような滑りにより駆動される振動系の過渡現象は、非線型の問題で取扱い難く今までこれの解は寡聞にして知らない。筆者はこのように滑りを介して駆動される揺動箴框の運動方程式を立てこれを数値積分により解き、しかして箴框の速度がクランクの速度と等しくなるまでの解を求めそれ以後は定常状態の運動とつなぎ合わせることにした。

第21図の運動系において前述のように滑りを介して力が加わるとし、この力を F とすると

$$I \frac{d^2\varphi}{dt^2} + \eta \frac{d\varphi}{dt} + Kr^2\varphi \pm R_e = \frac{FL}{\cos \theta} \quad (28)$$

但し I : 箴框の慣性能率

η : 粘性摩擦係数

K : バネ定数

R_e : 固体摩擦係数

φ の値は小さいから $F/\cos \theta$ の力は箴框に常に直角に働くとし駆動トルクを $F/\cos \theta$ とした。固体摩擦の性質として摩擦力は摩擦面の状態と圧力のみの函数となり摩擦物体間の相対速度には無関係として差支えないから F は一定とした。従つて $FL = T$ と置くと $T = \text{一定}$ 、である。又 η 及び R_e は他の項に比べて極めて小さいのでこれを省略し更に変形すると(28)式は(29)式の如くなる。

$$I \frac{d^2\varphi}{dt^2} + Kr^2\varphi = \frac{aT}{\sqrt{a^2 - L^2\varphi^2}} \quad (29)$$

(29)式において $\theta = \pi/2$ 、即ち $L\varphi = a$ の時は、右辺 $= \infty$ となつてこの方程式は不成立になるが数値積分の時、極限值を求めることにより困難を省けた。

(29)式を変数分離で積分すると結局(30)式が得られる。

$$\int_0^\varphi \frac{d\varphi}{\sqrt{\frac{2}{I} \left\{ \frac{Ta}{L} \sin^{-1} \frac{L}{a} \varphi - \frac{1}{2} Kr^2\varphi^2 \right\}}} + c_1 = t + c_2 \quad (30)$$

但し c_1, c_2 は積分常数である。

(30)式は普通の解析的方法では積分の遂行は不可能であるから実際には梯形法による数値積分を行った。

この数値計算に採用した諸数値は

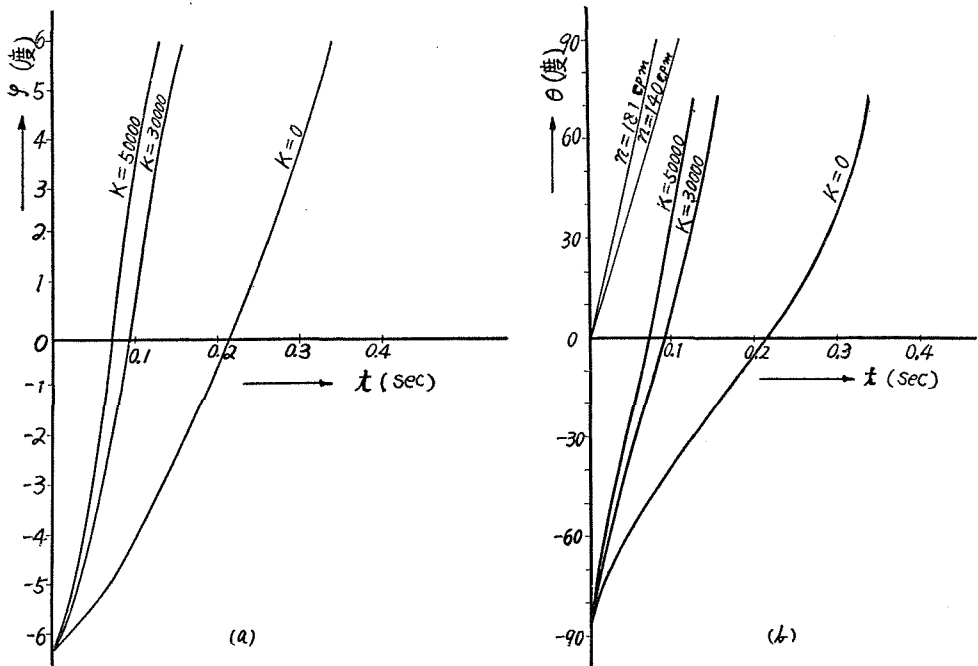
$$I = 34kg - m^2, \quad a/L = 0.11, \quad r = 0.5m$$

$K = 0 \sim 5000kg/m$, $T = 5kg - m$, 等で K, T を除いた外は全部現用の力織機について測定した実測値である。又 K の値は $K = 0$ 、即ちバネを全然用いない普通の織機の場合及び $K = 3000kg/m$, $K = 5000kg/m$ の3例について計算した。これらのバネを附した場合の箴框の固有振動数はそれぞれ 140c.p.m., 181c.p.m. である。従つて織機の回転数を 140c.p.m., 181c.p.m. とし各場合の計算を行った。なお(28)或は(29)

式の計算においてはプーリ等，回転部分の慣性は考慮していないことを附言して置く。

4 - 3 計算結果

第22図 (a) は箴框角 $\varphi = -6.3^\circ$ ，クランク角 $\theta = -90^\circ$ 即ち後心より起動した場合



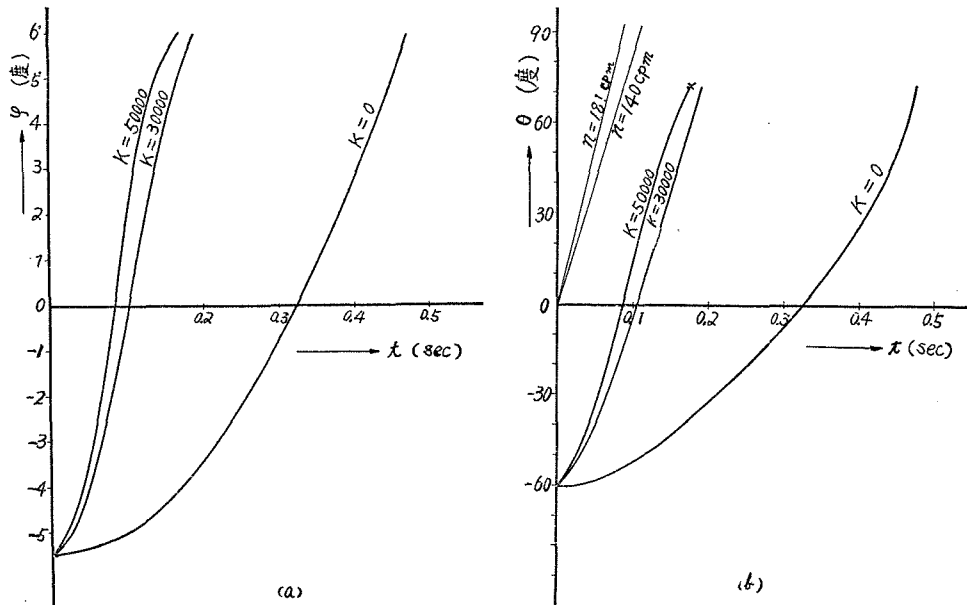
第22図 後心より起動した場合，時間に対する角変位

(a) 時間 t : 箴框角 φ , (b) 時間 t : クランク角 θ

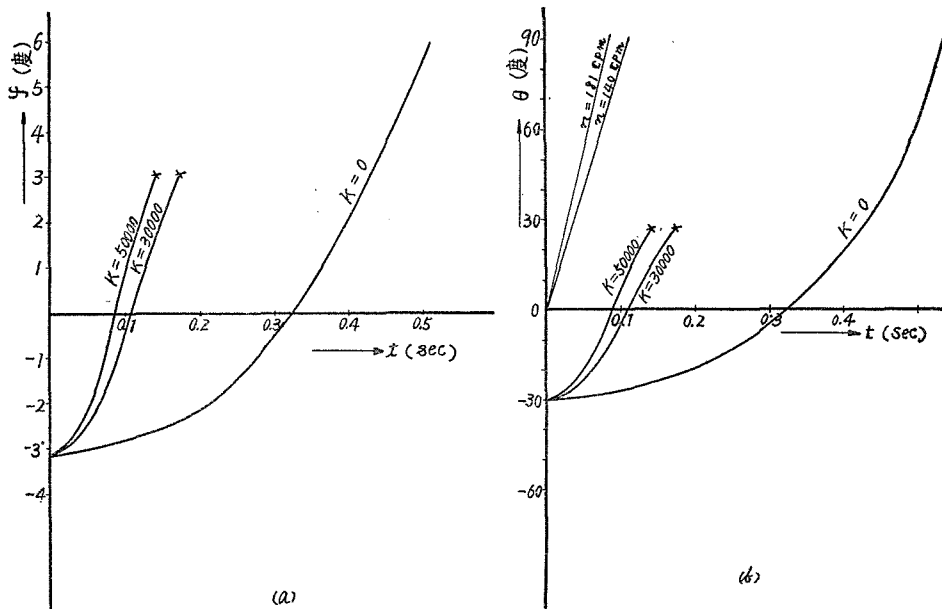
合時間に対する角変位を示す。又同図 (b) は同じくこの状態より起動の場合の時間に対するクランク角変位を示すものであり，図中 $n = 140 \text{ c.p.m.}$ ， $n = 181 \text{ c.p.m.}$ の一定速度で回転しているとした時の時間に対する角変位を示してある。これにより明かなようにこの直線と前の曲線の傾斜が等しくなった点が，一定速度に達した点でそれ以後は過渡現象が終了して定常速度で運転することになる。この角度から起動した場合は図から明かなようにバネを附した場合も附加しない場合も共に起動点において直ちに定常状態に移行することが解る。たゞバネを附した場合その加速曲線は定常運転の直線より傾斜は急であるから運動を助けるように働き，回転部分の慣性による過渡現象を打消してより一層早く定常状態に入り得ることになる。

次に箴框角 $\varphi = -5.5^\circ$ の点，即ちクランク角 $\theta = -60^\circ$ より起動した場合の時間に対する φ 及び θ の角変位を第23図 (a) 及び (b) に示す。

前述同様にして定常回転速度に達する迄の時間を求めると， $K = 0$ の場合 $n = 140 \text{ c.p.m.}$ に対して 0.465 sec ， $n = 181 \text{ c.p.m.}$ に対して 0.475 sec となり， $K = 3000 \text{ kg/m}$ のバネを附した場合 $n = 140 \text{ c.p.m.}$ に対して 0.085 sec ， $n = 181 \text{ c.p.m.}$ に対して 0.175 sec で定常状態となる。更にバネの強さを増して $K = 5000 \text{ kg/m}$ とすれば， $n = 140 \text{ c.p.m.}$ に対して 0.055 sec で定常状態となり $n = 181 \text{ c.p.m.}$ に対しては 0.075 sec で定常状態となることが知られる。従つてバネを附した場合はバネを附加しない場合に比べて著しく過



第23図 筈框角 $\phi = -5.5^\circ$ より起動した場合の時間に対する角変位
 (a) 時間 t : 筈框角 ϕ (b) 時間 t : クランク角 θ

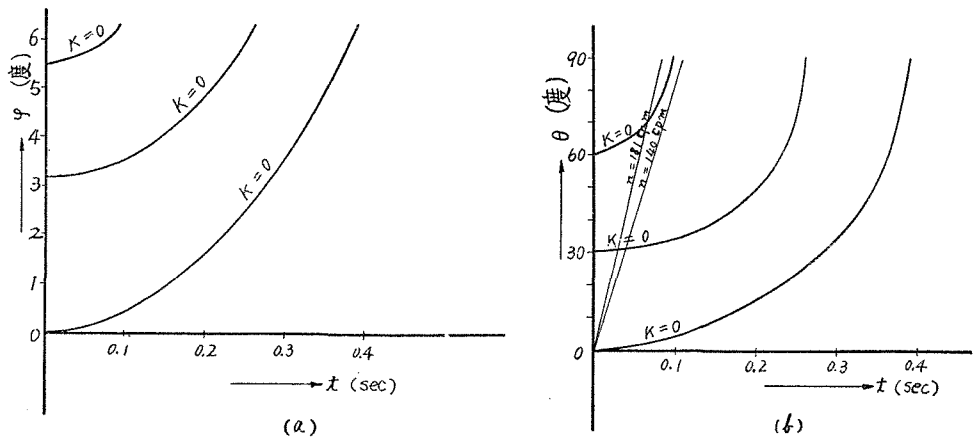


第24図 筈框角 $\phi = -3.1^\circ$ より起動した場合の時間に対する角変化
 (a) 時間 t : 筈框角 ϕ , (b) 時間 t : クランク角 θ

渡時間が短く、容易に定常状態になる。

次に $\varphi = -3.1^\circ$ ，即ちクランク角 $\theta = -30^\circ$ より起動せしめた場合の加速曲線を求めて見ると第24図 (a), (b) のようになる。この図において $K = 3000\text{kg/m}$ 及び $K = 5000\text{kg/m}$ の場合は、 $n = 140\text{c.p.m.}$ 、 $n = 181\text{c.p.m.}$ の直線と接する点は遂になく、従つてこのようなバネを附してこの角度から起動することは不可能であることがわかる。これに対してバネを附加しない普通織機は起動し得るが、過渡継続時間は長く $n = 140\text{c.p.m.}$ に対して 0.5sec 、 $n = 181\text{c.p.m.}$ に対して 0.526sec という比較的長い時間を要することが知られる。

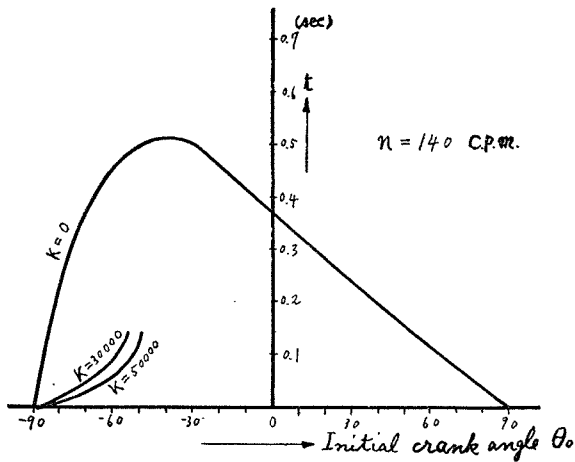
次に $\varphi = 0^\circ (\theta = 0^\circ)$ 、 $\varphi = +3.1^\circ (\theta = +30^\circ)$ 、 $\varphi = +5.5^\circ (\theta = +60^\circ)$ の各角度より起動した場合を考えるに、 $K = 3000\text{kg/m}$ 、 $K = 5000\text{kg/m}$ のバネを附した場合は全部起動し得ず、それに対してバネを附加しない普通の織機の場合はいずれも起動し得るがその過渡時間はそれぞれ次の如くなる。 $\varphi = 0$ より起動の場合 $t = 0.365\text{sec}$ ($n = 140\text{r.p.m.}$ に対し)、 $t = 0.38\text{sec}$ ($n = 181$)、 $\varphi = +3.1^\circ$ の場合 $t = 0.245\text{sec}$ ($n = 140$) $t = 0.25\text{sec}$ ($n = 181$)、 $\varphi = +5.5^\circ$ の場合 $t = 0.093\text{sec}$ ($n = 140$)、 $t = 0.095\text{sec}$ ($n = 181$) となる。これらの関係を図に示すと第25図の如くなる。以上第22～25図の結果を



第25図 箴框角 $\varphi = 0$ 、 $\varphi = +3.1^\circ$ 、 $\varphi = +5.5^\circ$ より起動した場合の時間に対する角変化

まとめてクランク円の各位置より起動した時の過渡時間の長さを示すと第26図の如くなる。図より明らかなようにバネを附加しない場合には後心より起動することが最もよく、それに対して上心、下心附近より起動することはよくない。又バネを附加した場合も後心より起動するか或はそれより若干過ぎたところより起動することが必要で、それ以外から起動し得ないことがわかる。従つてこのようなバネ付きの共振型箴框装置となした場合は停止位置を常に後心附近に止めるよう何等かの特別の装置を追加し、起動は上述のように後心及びそれより若干過ぎたところよりなす如く工夫する必要がある。そのような装置はそれ程むずかしいことはなく割合簡単な機構で済むから共振型箴框と限らず普通織機に應用してもよい結果が得られることは上の結果から明らかである。

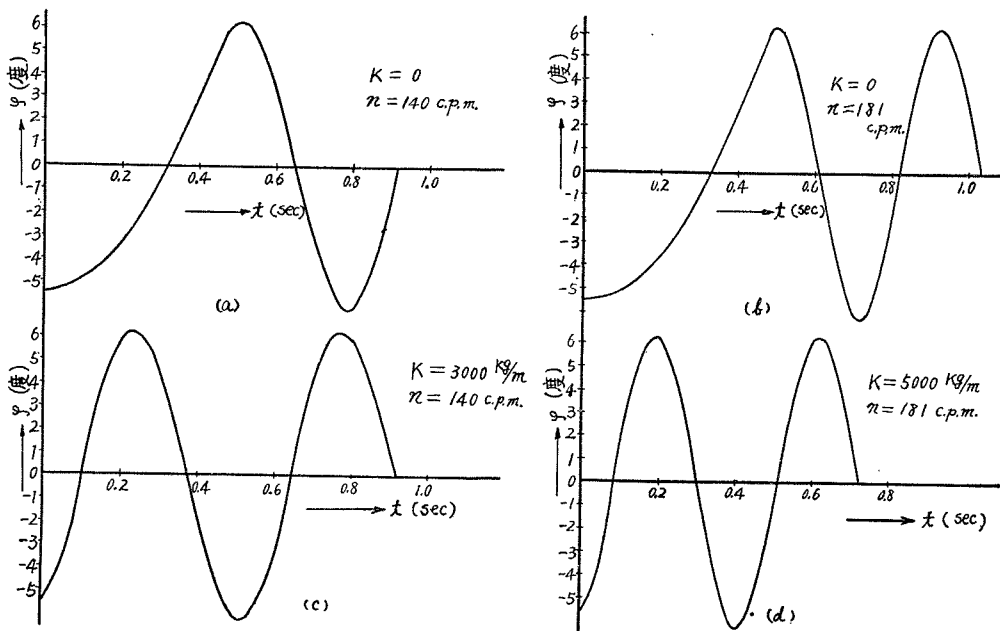
次に上述のような起動時における過渡状態から定常状態に移行する経過、即ち起動時の



第26図 起動時に於るクラツク角 θ_0 に対する過渡継続時間(但し $n = 140 \text{ cpm}$ の場合)

過渡現象を図に示すと第27図のようになる。

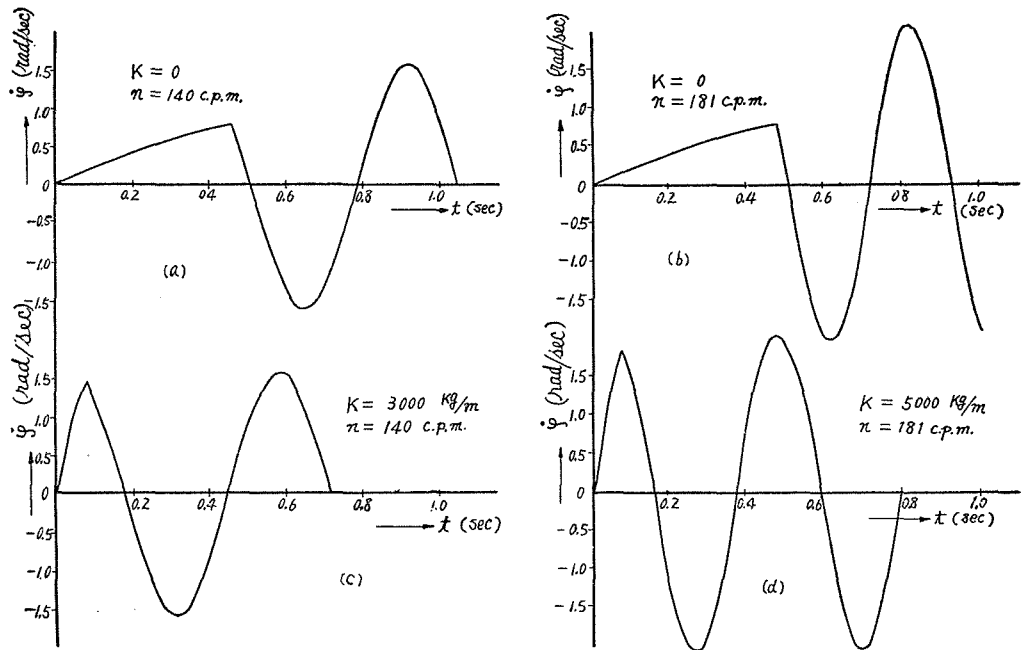
同図(a), (b)はバネを全然附加していない普通織機の起動を $\varphi = -5.5^\circ$ 即ち $\theta = -60^\circ$ より行つた場合で, (a)は $n = 140 \text{ c.p.m.}$, (b)は $n = 181 \text{ c.p.m.}$ の場合を示す。これに対してバネを附加して $n = 140 \text{ c.p.m.}$ 及び $n = 181 \text{ c.p.m.}$ に共振させ同じく $\theta = -60^\circ$ より起動した場合を同図(c), (d)に示す。この図より明らかなように(a), (b)の場合は共に一定速度に達するまでには多くの時間を要す



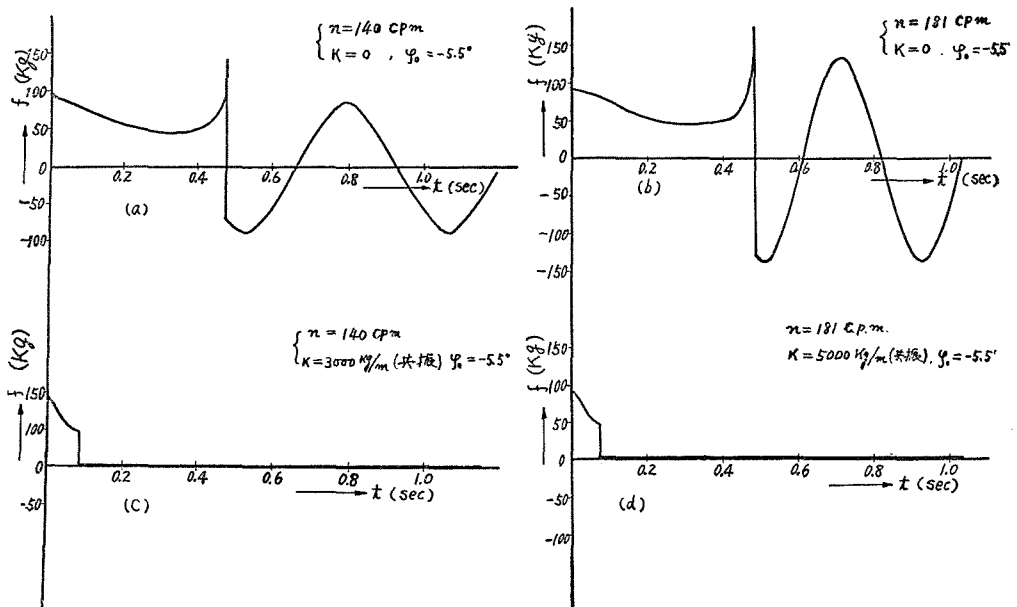
第27図 箴框起動時に於る過渡現象 (a) バネ無し, 起動角 $\varphi_0 = -5.5^\circ$, $n = 140 \text{ cpm}$ (b) バネ無し, 起動角 $\varphi_0 = -5.5^\circ$, $n = 181 \text{ cpm}$, (c) バネ附, $k = 3000 \text{ kg/m}$, $n = 140 \text{ cpm}$ (共振) $\varphi_0 = -5.5^\circ$ (d) バネ附, $k = 5000 \text{ kg/m}$, $n = 181 \text{ cpm}$ (共振) 起動角 $\varphi_0 = -5.5^\circ$

るのに対し(c), (d)は殆んど直ぐに定常運転に入ることがわかる。又このような起動時の箴框速度を時間に対して描いて見ると第28図のようになり, 更に又箴框を駆動する連結桿に加わる力を求めて図に示すと第29図の如くなる。

このように普通織機の場合は, 力は大きく変化するが共振型の場合は起動時に短時間力



第28図 起動時に於る箆框角速度 (a),(b),(c),(d)は第27図の (a),(b),(c),(d)に夫々対応

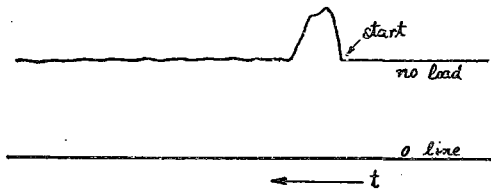


第29図 起動時に Connecting rod に加わる力 (a),(b),(c),(d) は第27図の(a),(b),(c),(d)に夫々対応

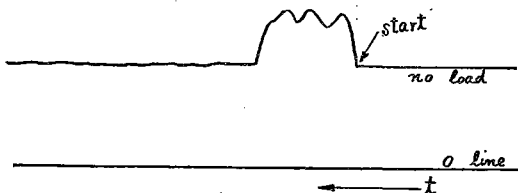
を要するだけで後は完全に力は零で振動を続けることになる。勿論抵抗分に対する力が必要であり更に又連結桿の長さが短いと第3高調波分が出てくるのでそれに対する力が必要となるが、これらも普通織機の場合に比べると全体的にいつて比較にならぬ程小であるから駆動特性は著しく改善されることは明らかである。

4-4 実験

豊田式綿織機にバネを取付けこの織機を 1/2IP 3相誘導電動機により V ベルトを介して駆動した場合の電動機入力電流を測定することにより電動機にかかる負荷の大体の変化を観測した。電動機の電流そのものが負荷の大きさではなく更に力率も考慮に入れる必要があることは勿論ではあるが、それでもなお電流を見ればその負荷の変動を知ることができる。それは 3 相誘導電動機特性上負荷が軽くなれば力率が低下し、負荷が大となればその反対であり力率が電流と無関係に変わるということがないからである。このような観点から電動機に直列に計器用変流器を入れこの 2 次回路電流を全波整流して電磁オツシログラフに入れてその振れを撮影した。



第30図 バネ附箆框固有回転数 $n_s = 130cpm$ のものを $n = 135cpm$ で駆動した場合の電動機入力電流のオツシログラム
但し起動箆框角 $\phi_0 = -5.5^\circ$



第31図 バネ附箆框固有回転数 $n_s = 130cpm$ のものを起動箆框角 $\phi_0 = 0^\circ$ から $n = 135cpm$ で駆動した場合の電動機入力電流のオツシログラム

第30図は $\phi_0 = -5.5^\circ$ 即ちクランク角 $\theta_0 = -60^\circ$ から起動した場合の電動機電流で箆框の回転数 $n = 135cpm$ 固有回転数 $n_s = 130cpm$ で殆んど共振状態に近い場合である。このオツシログラムから明らかなように箆框を回転せしめても電流の変化は殆んどなくその大きさは無負荷の場合と大体変わりなく箆框の揺動のための電力消費は、大体零であることが知られる。次に同じ条件で $\phi_0 = 0^\circ$ 即ち $\theta_0 = 0^\circ$ 即ち上心(或は下心)より起動した場合の測定結果を第31図に示す。この場合過渡時間は非常に長く起動が容易でないことが示されてある。上述の計算の結果においては起動不可能の領域に属するが実験を行つたのは V ベルトであるため摩擦力が割合大きく、従つてこのような角度からもとに角起動できたものと思われる。第32図は上の実験と比較

のためバネを附加しない普通の織機を用いた場合の電動機電流を測定した結果である。起動時のクランク角 $\theta_0 = -90^\circ$ 即ち後心からの起動の場合であつて、計算の結果によればこの場合過渡現象はないことになるが測定の結果は明らかにあらわれている。それは前にも断つてあるとおり計算においては回転部の慣性による影響を考慮していないからで、この点実験のものと合わないことになる。その点多少の修正が必要であるが、しかし起動特性の大体を知る上において計算結果は割合有効であることはいふまでもない。このバネを附加



第32図 バネ無し普通織機を起動箴框角 $\phi_0 = -6.3^\circ$ (後心)より $n=120\text{cpm}$ で駆動した場合の電動機入力電流のオツシログラム

しない場合にあつては過渡現象終了後定常状態に入つた後も電流の変化は大幅にあらわれ、クランク軸にかかる力の変化、或は電動機負荷の変動が非常に大きいことが知られる。

なお以上の実験はすべて投杼機構並びに開口装置を取外して行つたから実際の製織状態の織機においては負荷変動はこれより

り大きいことになる。

4 - 5 織機の負荷変動についての実験

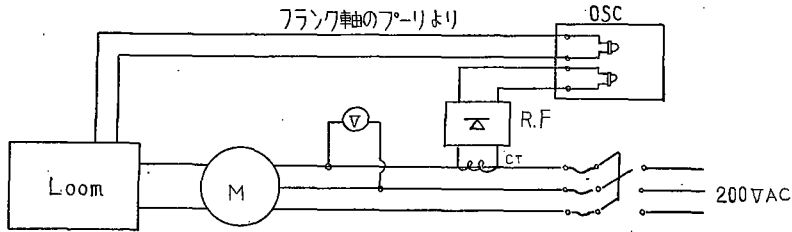
力織機において慣性能率の大なる箴框の揺動に要する負荷の変動を軽減するために、箴框脚にバネを付して慣性能率を打ち消し、負荷の変動をなくすることに対して前節は、種々検討を加え、極めて有効な方法であることを指摘した。これに対し従来より緯糸の打込みに対しては箴框慣性が重要な役割をはたすとの観念があり、そのため上記のようにバネを付して箴框慣性を打消すことは、緯糸打込に対して悪影響を及ぼすかとの懸念があつた。この箴框慣性が緯糸密度に影響しないとの実験結果は、内田氏⁽⁷⁾により発表はなされてはいるが慣性能率を完全に打ち消して共振せしめた場合については、なお若干の疑念があつた。これに対しバネ付共振型箴框を用いた場合、緯糸密度は変化するかしないかを検討した。

次に前節に述べたものは箴框の揺動のみを行かせた時の負荷の変動について実験した結果についてであるが、織機の完全な機構を設備した場合の負荷の変動を求めていなかったもので、完備した織機として負荷の変動を求めた。以下これらのことについて述べる。

負荷の変動に対して電動機の入力電流が変化するから電流のオツシログラムを撮れば負荷の変動を見ることができる。たゞし負荷の大きさに対して電動機の力率がまた変るから、電圧が一定としても電流のみを見て負荷の絶対値を知ることはできない。しかし誘導電動機は軽負荷においては力率が低く、全負荷に近づく程力率は高くなる。したがつてオツシログラムに得られた電流の変化は負荷の変動よりも変化の巾が小さく、大巾の負荷の変動は圧縮されて示されていると見てよい。この点バネ付の場合とバネなしの場合の電流の変化を比較した場合、後者の変動は実際上前者の変動より更に大きいということになる。

実験は豊田式綿織機を用い 1 HP 誘導電動機より Vベルトで駆動しクラッチ結合した。したがつて起動の際はクラッチにすべりがあると見られる。このようなすべりを介して起動が行われないと任意のクランク角から起動する場合は無限大の応力が連結桿に加わるから、実際上は起動せしめることが不可能で必ずベルト、あるいはクラッチにすべりが必要であり、このすべりの摩擦力を介して起動が行われることは前節で説明した通りである。したがつて織機の回転速度は、起動時には低く時間の経過にともなつて漸次上昇し、ある時間の後に一定速度になる。この場合箴框の慣性能率が大きいと一定速度になるまでの時間は長時間を要し、これに対しバネを付して慣性能率を相殺せしめた時は、この過渡

時間はずつと少くなることは前節において理論的並びに実験的に説明した。たゞし織機を起動せしめる時の慣性は、この箴框の大きな慣性能率の外に他の回転部分の慣性も加わるから、理論的に前節において求めたものよりも一般に大きくなる。更にまた杆投に要する力も必要であるから、織機的全機能を同時に働かせる場合は、共振型箴框として箴框の慣性を完全に打ち消した場合にもなお負荷の変動は免れない。バネを付して共振型箴框とした時と、バネのない普通織機とでは負荷の変動はどうであろうか。実験は次の如く行つた。



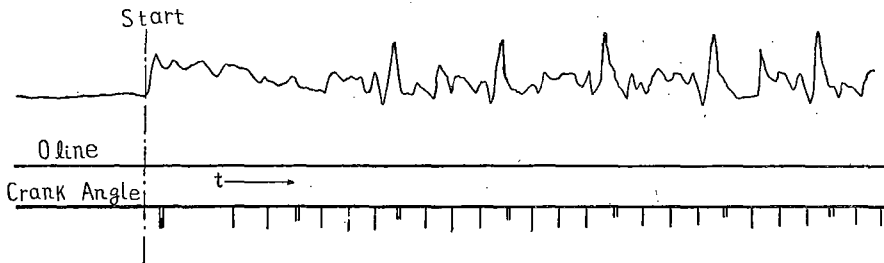
第33図

織機の電動機の入力電流並に速度記録のための結線図

M : 1HP 誘導電動機 CT : 計器用変流器 RF : 整流器

OSC : 電磁オツシロ

第33図に示すように電動機の入力電流を記録するために計器用変成器を通し、更にこれを整流器により全波整流して電磁オツシロのバイブレータに入れた。一方織機の回転速度を記録するために織機のクランク軸のプーリに等間隔に小突起を設け、この小突起により接点を開閉せしめ、クランク軸の回転角を電流のパルスに変化し、これを電磁オツシロに記録せしめるようにした。その結果の一、二を示すと第34, 35, 36図のようである。

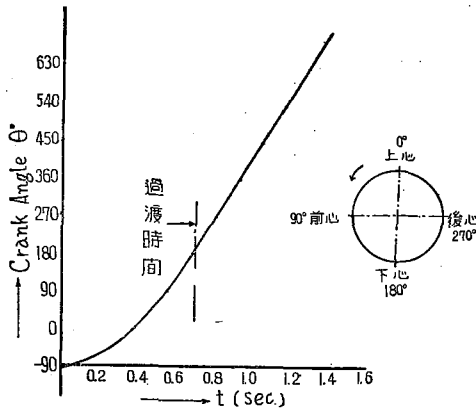


第34図 (a)

バネ無し普通織機の電動機入力電流の変化と起動時に於る廻転速度の変化
(織機の廻転速度 120rpm)

過渡時間がバネ付のものよりも大きく出ており慣性の大きい場合は、一定速度になるまで余計に時間を要することを示している。第34図 (b) はこの加速過程をオツシログラムより求めてグラフに描いたものである。

第35図 (a) は織機の回転数 110r.p.m. の場合で、これはバネを付しはゞ共振状態に持ち来たした時の電動機入力電流のオツシログラムを示す。この図に見るように電流の変化は



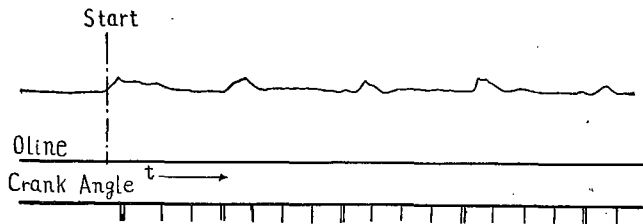
第34図 (b)

第34図(a)の場合の起動時に於る時間対
クランク角の関係

過渡現象が明瞭にあらわれている。

極めて少なくなり、わずかに杼打の際の負荷変動があらわれているに過ぎない。また同図(b)に加速過程を示す。この図に見られるように定常回転になるまでの過渡時間は約 0.2sec で極めて短い。

第36図(a)は織機の回転数 120 r.p.m., 固有振動数 130r.p.m. で固有振動数がわずかに織機の回転数よりも多いバネ付箆框織機の電動機入力電流のオツシログラムである。この場合数回転以後は電流の変動はかなり小であることが示されている。たゞし起動後 2, 3 回は変動も若干大きく起動時の

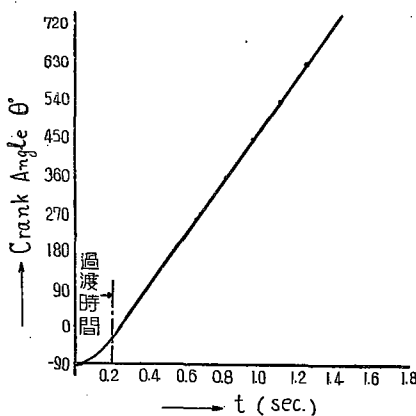


第35図 (a)

バネを附しはゞ共振状態とした場合の電動機入力電
流の変化と起動時に於る廻転速度の変化
(織機の廻転速度 110rpm)

4 - 6 共振型揺動 箆框による 緯糸密度

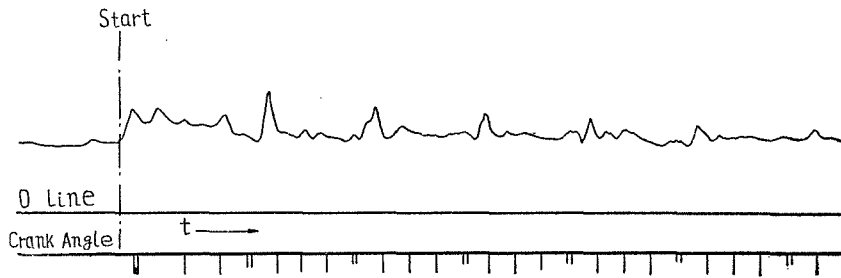
箆框はクランク軸に
リンクされて運動する
から、必ず所定の位置
まで前進して来て緯糸
を圧入する。したがつ
て各部相互の機構間に
少しのガタもなく、た



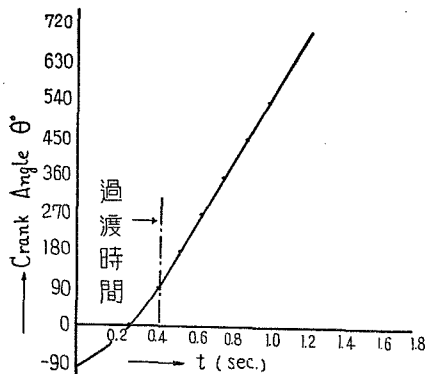
第35図(b)

第35図(a)の場合の起動時に於
る時間対クランク角の関係

わみも存在しない場合は、箆が箆前に与える力は箆框の速度及び重量には無関係であることは明らかである。また各部の機構間にガタがある場合は完全なリンク運動ではないから、箆框の速度並びに重量により打込の力が変り緯糸密度の大なるものを織る場合は箆框重量を大にすることが常識的となつている。しかしこの場合とてもたゞ一回の箆打ちの場合であればうなずけるが、連続して製織する場合は連結桿の長さとかガタの長さの和が一定であり、送出し速度が一定であればガタによる影響はないはずである。同様にクランク軸並びに箆框脚のたわみの影響もゝちろん問題にならない。内田氏⁽⁷⁾によると箆框重量が緯糸密度に全然関係ないことが示



第36図 (a) バネ付箄框織機(固有振動数 130rpm) の電動機入力
電流と起動時に於る回転数の変化
(織機回転数120rpm)



第36図 (b)

第4図 (a)の場合の起動時に於る時間
対クランク角の関係

されている。

筆者は前記共振型揺動箄框により経糸（綿糸 30's 密度55本/in），緯糸（綿糸 30's）により実験を行い，また同一織機を用いバネを取り去つて実験を行い，緯糸密度を比較した。その結果は下記のとおりになった。

第 3 表

織 回 転 速 度	120回/min	150回/min	168回/min
バ ネ な し	66.7本/in	66.7本/in	65.8本/in
バ ネ 付 (共 振 速 度 120/min)	66.5本/in	66.3本/in	66.3本/in

第4表は各数回の測定結果の平均値を示す。以上の結果からするとバネを付して箄框の慣性率を打ち消しても緯糸密度は普通織機の場合との間に有意の差は認められない。殊に固有振動数と完全に同期した場合，すなわち慣性率を完全に打ち消した場合（第4表中の 120回/min の場合）も同様であつた。織機の回転速度を固有振動数より高めた場合は，慣性率の影響が漸次大になるがその影響もあらわれていない。

4 - 7 第4節の結び

織機を運転せしめる場合慣性率の大きな箄框を揺動せしめることは，大きな負荷の変動を与える原因となるが，箄框にバネを付してこの慣性率を打ち消すことにより負荷の

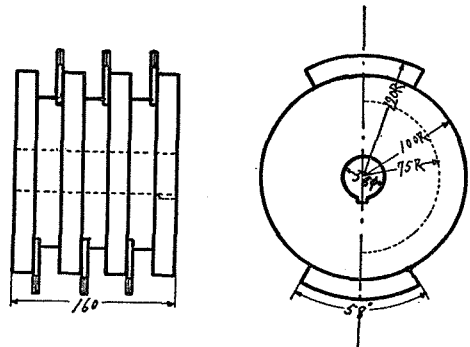
変化を解消することについて検討を行つた。

その結果は上述のようにほぼその目的を達し得た。またこのようなバネを付すことによつて、織機の起動は円滑かつ一定速度に短時間で到達する利点があり、これはバネ付箄框の他の利点といふことができる。たゞしこのような箄框は後心付近から起動することが絶対必要で、他の部分例えば上心あるいは下心等の位置からは起動し得ない場合も起る。それ故織機の停止は必ず後心付近において行い、その位置に固定され起動はその固定装置の解放をもつて行ふような付加装置が必要である。また箄框にバネを付加した場合の緯糸密度はバネなしの場合と有意の差はなく緯糸打込みに対する懸念も全然ないことがわかつた。

5. 制御装置

織機の回転と同期してシャットルの発進停止を行うため回路の開閉並びに接続変更を行わねばならぬ。このため下軸の端にロータリスイッチを装着し、下軸の回転によりその動作を行わしめる。シャットルの速度は端子電圧並びに電源周波数が一定である限り一定であるから、織機の回転速度が定まれば通電時間が定まる。従つて回転子の接触刷子の幅が決定される。もちろんこの幅は厳密な寸法が要求される程のことはなく、織機の回転数の変化によつても影響されないよう、余裕をとつて決定してよい。又回転子自身に饋電する構造にするとその機構が複雑となるから、そのような構造は排し回転子は単なる短絡刷子の働きをするようにした。

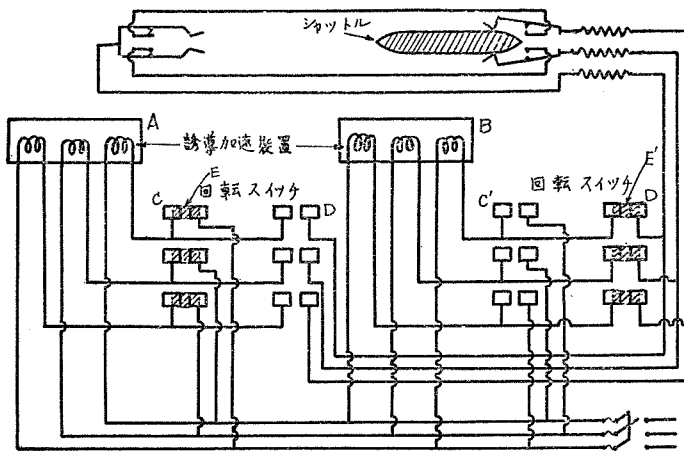
回転子の構造は第37図に示す通りで3相3線の開閉を行うように3枚の接触刷子の組を取付け、更に又対向駆動装置に対する刷子を前者より 180° 距つた角度に取付けてある。このような回転子の刷子により駆動装置の開閉の順序が A 駆動→ B 制動→ B 駆動→ A 制動……の順になるようにならなければならない。



第37図 回転スイッチの回転子

第38図はこのような動作を行わしめるための接続である。図中ロータリスイッチ部分は直線的に展開して示してある。A, Bは加速装置, C, C'は駆動回路接点, D, D'は制動回路接点, E, E'はおのの 180° 距つた3枚1組の回転刷子である。最初 E が C の接点を短絡閉成し次に E' が D' を短絡閉成し、次に更に回転角度が進めば E' が C' を短絡閉成し、次に E が D を……と回転子の回転と共に順次接続が変化してゆく。

又織機の起動並びに停止に伴いそれと同時に駆動装置の電源の投入、遮断を自動的に行う必要がある。そのため起動停止用ハンドルと連動するスイッチを設けた。第39図はその機構を示す。これについて簡単に説明すると織機の下軸にカムを取付け、その下部に刃形スイッチを設けてある。従つて織機が回転して居るとこのカムによつてスイッチが下方に押し下げられ回路が閉じられるが、レバーを引いて織機の回転を停止せしめるとそのレバーに接続されたワイヤーが上記スイッチを引上げその回路を断つ。起動の際はこれと逆にレバーを動すとワイヤーがゆるみ同時に織機の回転が始つてからカムが回転しスイッチを



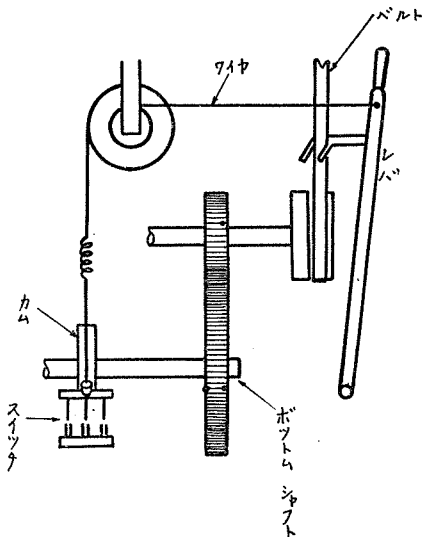
第38図 接続図

押し下げる。このように織機のレバー一つで機械的にも電気的にも一動作で始動出来るから操作が簡単で且つ完全な運転が可能である。

6. 所要電力並に騒音

試作した一例についてその消費電力を電流並びに巻線抵抗の値から計算で求め

てみると、平均電力 130W となつた。この値は普通綿織機に比べて見て大体同じ程度と見てよい。しかし試作は薄鉄板を打抜きすることができず、積重ねて置いてシェーパー切削を行つたため、鉄損が大きくなつたこと、更に又手作りのため工作精度上空隙が比較的大になつたこと等のため損失が大きく、これが最高効率ということとはできない。今後工場製作を本格的に行うことができれば、更にずっと消費電力の低下を期待することができる。又力率は空心コイルを用いる他の方法に比べれば遙かに良好ではあるが、それにしても誘導機であり空隙も今のところ若干大であるため比較的に低い。従つて進相用蓄電器を用いれば一層よく、このようにすれば力率の改善も大幅に行うことの出来ることは勿論である。次にこの装置を用いた織機



第39図 起動停止用連動スイッチ

は衝撃音が殆んどないから織機の発する騒音の大部分がなくなりずっと静かな運転を行うことができる。騒音の測定結果を述べれば次表のとおりである。

第 4 表

綿織機(豊田式)		
抒箱前面胸木線上における騒音	85~105	フォン
綿織機(電磁投抒式)		
同上位置に於る騒音	60~75	フォン

以上のように約 25~30 フォンの騒音軽減で耳に与える感じは格段の差がある。

7. 総括

力織機のシャトルの駆動並に制動に電磁誘導力を応用して行う方法を考案し、これを供し得るよう試作研究しその結果

- (4) 所期の通り十分強力且つ高速度の投杼機構を作り得た。
- (2) 投杼機構をそのままシャットルの制止機構として役立たせることができる。そのため一つの機構でシャットルの騒動並に制動を行い得る一元的機構とすることができた。
- (3) 従来のような衝撃的方法を用いないから織機の騒音が著しく通減し騒音の大きさが従来のもの 105 フォンという値に対し同じ関係位置において75フォンとなり大幅の減小を見た。
- (4) 投杼機構に消費される電力は平均約 130 ワットでこれは従来のものと比較してそれ程の差はなく、更に改善すればもつと少くすることができよう。
- (5) 装置の機構は簡単に堅牢にでき従来の織機を多少改造すれば取付けることができ価格もそれ程でないから実用に適する。
- (6) 揺動箆框にバネを付して固有振動数をもたせ、クランク軸からの強制振動に大体共振せしめると箆框の揺動に依る負荷の変動は殆んどなくなり、電動機入力電流はほぼ一定になる。共振から外れた状態に於ても箆框の慣性が打消されてバネのない従来の織機よりもずっと負荷変動が少くなる。
- (7) バネを付した場合の起動はクランク円の前心又は後心及びそれを若干越した角度から行えば過渡状態が速かに終了し定常状態に直ちに入る。しかし反対に前心又は後心の若干手前から起動しようとするると過渡現象が大きく現われ、ある場合には起動し得ない場合も起り得るから、このような角度で起動すべきではない。
- (8) 共振型揺動箆框を用いた場合の緯糸密度と普通織機による緯糸密度を比較した場合密度差は認められずバネ付箆框は有効であることが実証された。

8. 謝 辞

終りに本研究の最初の着想は岡田幸雄博士により与えられたもので、ここに記して深甚の謝意を表する次第である。又御指導御鞭撻を賜った本学前学長森博士、前教授故大高博士、更に試作に実験に多大の骨折りを惜しまれなかつた松田、遠藤、安部の各氏に、又実験に努力された当時の学生、伊藤、西山、北浦、杉淵、奥山の各氏に、又有益な御助言と御助力を賜った繊維工学科松田、堀越両氏並に同科工場各位並に電気工学科教官各位に心からの謝意を表し、更に研究費の御援助を賜った山形県当局に深く感謝する次第である。

文 献

- 1) 電流による積極的緯入装置，特許 91292
- 2) 力織機に於る積極的緯入装置，特許 172655
- 3) 電磁式投杼に依る織成装置，特許出願公先 昭26-1382
- 4) 本報告の投杼装置の特許は「織機の杼の電気駆動装置，特許 第214897号 昭30. 7. 18」
- 5) J. S. Jacobsen : Jour. of App. Mech. No. 10, 543, (1952)
- 6) K. Takei : SCI. REP. RITU, B-(Elect.-Comm.) Vol. 8, No. 1
Tohoku Univ. June 1956.
- 7) 内田，大沢：織学誌，1, 3 (昭19. 3)

The Study of the Power Loom with a Electromagnetic Picking Mechanism.

Masayosi HOSINA :

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering.

The purpose of this study is to devise a new picking mechanism in which the shuttle is driven and controlled by electro-magnetic force on a power loom. It is achieved and a new powerful and high speed picking mechanism becomes now available.

The electro-magnetic picking mechanism also works as a braking mechanism against the shuttle. Another characteristic feature of the new mechanism is elimination of shock, and abatement of noise. 105 phones with conventional type power loom was reduced to 75 phones with new picking mechanism.

As the weight of the electro-magnetic picking mechanism is considerably large, the variation of the load for which swings the slay is also large. In order to reduce this load variation of the loom, a spring was added to the slay sword

A slay connected to the crank shaft through a spring will be in resonance with the external forced vibration of the crank shaft, eliminating almost all of the variation of the load due to the swing motion of the slay. Thus the input current to the loom motor is kept nearly constant. Even if the system is not exactly in the state of resonance, the variation of the load is reduced, compensating a part of the inertia force of the slay.

In this type of the loom, the loom should be started at a position a little beyond the front or back center. By doing so, the transient state is passed very soon to arrive at a steady state. On the contrary, if the loom is started at a position a little behind the front or back center, the transient state will not be passed so soon.

Weft density of the fabric woven with resonant type slay is almost the same as that with the conventional type slay.